

A tudományos gondolkodás története

Előadások a természettudományok
és a matematika történetéből
az ókortól a 20. századig

Szerkesztette
Ropolyi László és Szegedi Péter

A tudományos gondolkodás története

Szerkesztette Ropolyi László és Szegedi Péter

A tudományos gondolkodás története

Előadások a természettudományok
és a matematika történetéből
az ókortól a 20. századig

Szerkesztette
Ropolyi László és Szegedi Péter

© Kiss János, Kiss Olga, Ropolyi László, P. Szabó Sándor, Székely László, Szegedi Péter, Varga Miklós, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Typotex, Budapest, 2000, 2024
Ez a mű a Creative Commons 4.0 Magyarország CC-BY-NC-ND-4.0 licenc feltételeinek megfelelően felhasználható.

Lektorálta
dr. Láng Benedek

ISBN 978 963 493 325 0

Kedves Olvasó!
Köszönjük, hogy kínálatunkból választott olvasnivalót!
Újabb kiadványainkról, akcióinkról a www.typotex.hu
és a facebook.com/typotexkiado oldalakon értesülhet.

Typotex Kiadó
Alapította Votisky Zsuzsa, 1989
A kiadó az 1795-ben alapított Magyar Könyvkiadók
és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.
Felelős kiadó: Németh Kinga
Felelős szerkesztő: Brunner Ákos
Tördelés: Benkő Márta
A borítót készítette: Szalay Éva

TARTALOM

TARTALOM	5
ELŐSZÓ	9
I. A TUDOMÁNY KEZDETEI	11
A) Bevezetés.....	11
B) A naiv, mitikus gondolkodás s a tudomány kezdetei	13
C) Az ókori tudomány kezdetei.....	16
1. Bevezetés	16
2. Egyiptom	17
3. Mezopotámia	24
4. Tudomány és természetfilozófia az ókori Kínában	29
D) Összegzés.....	51
Irodalom.....	51
II. AZ ÓKORI GÖRÖG TERMÉSZETTUDOMÁNY ÉS MATEMATIKA TÖRTÉNETE	53
A) Bevezetés.....	53
1. A „görög csoda”	53
2. A szuverén görög személyiség	53
3. A görögök tudományos teljesítménye	55
4. A görög gondolkodás- és tudománytörténet korszakolása.....	62
B) A görög matematika fejlődése	67
1. A görögök előtti matematika	68
2. A bizonyítás megjelenése a matematikában	71
3. A püthagoreus mathémata	73
4. Az athéni Akadémia	76
5. Az első axiómarendszerek – az euklideszi Elemek.....	79
6. Antik heurisztika.....	82
7. Alkalmazott matematika a hellenisztikus korban.....	84
C) A harmonikus kozmosz püthagoreus eszméje és a görög matematikai csillagászat	84
1. A milétoszi természetfilozófia és a görög csillagászat	84
2. A praktikus görög csillagászat.....	89
3. A harmonikus kozmosz püthagoreus eszméje	94
4. Platón.....	96
5. Eudoxosz és Kalüpposz homocentrikus szférái	98
6. Arisztotelész	101
7. A világ és a kozmosz. A démokritoszi és az arisztotelészi kozmológiai modell.....	103
8. A hellenisztikus csillagászat.....	105
9. A kaldeusok numerikus bolygóelmélete.....	110
D) A biológiai ismeretek önálló rendszerré szerveződésének kezdetei az antik korban.....	113

1. Az anyag és az élet mibenléte; az éltető erő és a lélek	115
2. A tudomány módszertana felé	120
3. A növénytani ismeretek fejlődése	122
4. Az állattan kialakulása.....	126
5. A(z emberi, állati) szervezet struktúrája és működése	129
6. Viselkedés: érzékelés, mozgás, gondolkodás, értelem	137
7. Szaporodás, öröklődés, egyedfejlődés	144
8. Az élővilág fejlődéséről	148
9. Egyedek fölötti szerveződések, környezeti kölcsönhatások	149
E) A görögök fizikai és kémiai ismeretei.....	150
1. Fizikai és kémiai ismeretek a preszókratikus korszakban.....	150
2. Az antik természetfilozófia hozzájárulása a fizikához	158
3. Fizika a görög tudomány klasszikus korszakában.....	169
4. A görög-római kor fizikai és kémiai ismeretei	178
F) Összegzés.....	186
Irodalom.....	186
III. A KÖZÉPKOR TUDOMÁNYA	189
A) A tudomány helyzete a koraközépkori Európában.....	190
B) A tudás hosszú vándorútja: Bizánc, Perzsia, arabok, Európa	193
1. A bizánci tudomány	193
2. Az iszlám tudomány	194
C) Európa újra kezdi a XII–XIII. században	196
D) Egy hosszú történet: a természeti törvény fogalmának kialakulása.....	198
1. A természeti törvény fogalmának előtörténete	199
2. Isten és természet. Természetes és csodás dolgok.....	200
3. Társadalom és természet. Természetjog és természeti törvény.....	203
4. Tudomány és természet. A természettudományok törvényfogalmának alakulása	204
5. A természeti törvény természete.....	208
E) Összegzés.....	209
Irodalom.....	209
IV. ÚJKORI FORRADALOM A TUDOMÁNY JELLEGÉBEN ÉS TÁRSADALMI HELYZETÉBEN. A MECHANIKAI VILÁGKÉP KIÉPÜLÉSE	211
A) Bevezetés.....	211
B) A csillagászat története Ptolemaiosztól Keplerig	212
1. Bevezetés	212
2. Az Almagest és a korabeli arab világ	213
3. A skolasztika és Ptolemaiosz	214
4. Cusanus.....	215
5. Kísérlet a homocentrikus szférák elméletének megmentésére	217
6. Kopernikusz.....	217

7. Tycho de Brahe.....	224
8. Kepler.....	226
9. Galileo Galilei távcsöves megfigyelései és a kozmosz anyagi homogenitása.....	234
10. A kopernikuszi fordulat kozmológiai kiteljesítése: a Giordano Bruno-féle világegyetem.....	236
C) A modern matematika kialakulása.....	238
1. A nyugat-európai matematika forrásai.....	239
2. Al Hvárizmi algebrája.....	240
3. Az európai matematika reneszánsza.....	242
4. Az algebra európai megjelenése.....	245
5. Algebrai geometria.....	246
6. A végtelenül kicsinyek (infinitezimálisok).....	248
D) A klasszikus mechanika kialakulása.....	252
1. A tudományos módszer.....	252
2. A mechanika programjának kitűzése.....	257
3. A részletek kidolgozása.....	258
4. A mechanikai program megvalósulása a newtoni szintézisben.....	272
E) A biológiai ismeretek a XVII. században.....	286
1. A humorális élettan és kórtan bukása: a felemelkedő iatrokémiai és a iatrofizikai szemlélet.....	287
2. A vér mozgása a vérerekben.....	291
3. A szervezet descartes-i kettéosztása: a iatrofizikailag magyarázható test és a kiterjedés nélküli lélek.....	293
4. A iatrofizikai szemlélet kibontakozása.....	294
5. Mikroszkóppal vizsgálódó kutatók.....	299
6. Az embrionális fejlődés: a preformáció tana.....	307
7. Növényi szexualitás és az élőlények osztályozása.....	308
F) A tudományos kémia kialakulásának kezdetei.....	311
1. Bevezetés.....	311
2. Mesterségbeli tudás, anyagismeret.....	311
3. Az alkímia kora.....	313
4. XVI–XVII. század.....	316
Irodalom.....	317
V. A TUDOMÁNY A MECHANIKAI VILÁGKÉP KITERJEDÉSÉNEK ÉS FELBOMLÁSÁNAK KORÁBAN.....	320
A) Bevezetés.....	320
B) A mechanikai minta működése és meghaladása a fizikában.....	320
1. A mechanika tudományának átalakulása.....	320
2. Az elektrodinamika kibontakozása.....	323
3. Az energiamegmaradás története.....	341

C) Új axiomatizálás.....	346
1. Projektív geometria	347
2. Az analízis megalapozása	348
3. Az algebra átalakulása	350
4. Nem-euklideszi geometriák	352
5. Filozófiai viták – új alapok	354
6. Új axiómarendszerek	356
D) A Bruno-féle világegyetem és a XIX. századi természettudomány	359
1. A Bruno-féle kozmológiai modell	359
2. A Bruno-féle modell természettudományos formájának kialakulása: Descartes és Newton.....	360
3. A Bruno-féle modell természettudományos formájának kialakulása: a XVII–XIX. századi empirikus csillagászat	361
4. Az anyag végtelen, örök körforgása és a végtelen világegyetem	365
5. A XIX. századot uraló csillagászati–kozmológiai séma problémái:.....	366
E) A korai (XVIII–XIX. századi) evolúciós elméletek	368
1. A rendszerezett sokféleség magyarázata: átalakulások vagy helyettesítések	372
2. Az evolúció fő mozgatója: a természetes szelekció	383
F) A kémia tudománnyá válásának kora a XVIII–XIX. században.....	402
1. A kémiai elemfogalom kialakulása	403
2. A klasszikus kémiai atomelmélet kialakulása. A daltoni atomhipotézis és kialakulásának körülményei.....	406
3. A kémiai atomelmélet válsága és megszilárdulása.....	407
4. A tudományos törvény problémái Mengyelejev és L. Meyer munkásságában	410
5. A klasszikus kémiai szerkezetelmélet kialakulása. „A kémiai szerkezet” fogalmának különböző megközelítési módjai	414
6. A klasszikus szerkezeti kémia alapelvei, ellentmondásai.....	421
Irodalom	426
UTÓSZÓ.....	427

ELŐSZÓ

Könyvünk története több mint tíz évvel ezelőtt kezdődött. Akkoriban úgy gondoltuk, hogy előadássorozatot indítunk azoknak a természettudományi karos egyetemi hallgatóknak a számára, akik nem csupán saját szaktudományuk történetére kíváncsiak, hanem szélesebb betekintéssel szeretnének rendelkezni a rokon tudományok körében is. A sorozat tematikájának átgondolása közben rájöttünk, hogy mi magunk nem tudunk minden fontos témával megfelelő színvonalon foglalkozni, ezért egyes előadások megtartására felkértünk olyan természet-tudósokat, akikről tudtuk, hogy érdeklődnek a tudomány története iránt is. A munkában így az évek folyamán több mint tízen vettünk részt. Hallgatóságunk pedig mindig akadt, ezért a kollégiumot folyamatosan meghirdettük.

Nagyon hamar felmerült azonban az a kérdés, hogy milyen irodalmat adjunk hallgatóink kezébe. Léteznek magyar nyelven kiváló, de legalábbis az egyetemi oktatásban jól felhasználható tudományági történetek (például Balázs Lóránt, Sain Márton, Simonyi Károly könyvei), továbbá inkább a középiskolák számára szóló kultúr-, gondolkodás és újabban tudománytörténeti művek (mint pl. Benedek István, Csorba László, Lendvai L. Ferenc munkái), képes népszerűsítő kiadványok, a magyar tudomány történetét feldolgozó művek is. Külön megemlítendőek Vekkerdi László könyvei és folyóiratokban megjelent esszéi, amelyek nem csupán egy-egy tudós tevékenységébe, tudománytörténeti korszakba engednek betekintést, hanem a tudománnyal kapcsolatos szemléletet is formálni képesek. A hallgató azonban az ajánlott művek összeszedetése helyett igazából azt szereti, ha a teljes tananyagot felölelő jegyzetet vagy tankönyvet kap a kezébe. Általános – több tudományág történetét korszakokon keresztül átfogó – tudománytörténeti művet azonban nem tudtunk rendelkezésükre bocsátani (erre legfeljebb John D. Bernal könyve lehetett volna esélyes, amely azonban túlságosan nagyigényű – és ezáltal túl terjedelmes –, némileg egyoldalú – főleg az iparral való kapcsolatokra összpontosít – és ezáltal elavultnak tekinthető).

A megfelelő tankönyv hiányában tehát az utóbbi években magunk tettünk kísérletet előadásaink rögzítésére. Ennek eredményét tartja kezében az olvasó. A keletkezés körülményei, a sok különböző érdeklődésű szerző következtében a könyv különbözik egy egyetlen szerző által írt történeti monográfiától. Hiányzik belőle az egységes felfogás, a mindent átható koncepció, a homogén stílus. A sokszínűség azonban nemcsak a természettudomány jellemzője, hanem a mai tudománytörténet-írásé is. Thomas S. Kuhn 60-as évekbeli fellépése, az utána következő viták és a kialakuló tudományfilozófiai iskolák nem hagyták érintetlenül a tudománytörténetészek amúgy is iskolák szabdalta közösségét sem. Tudósnak és tanárnak készülő hallgatóink előtt sem szoktuk titkolni, hogy manapság nem létezik egyetlen autentikus tudomány- és tudománytörténet-felfogás. Talán e sokféleség tükröződik valamennyire ebben a kötetben is. Reméljük azonban, hogy ez csak elősegíti tankönyvünk széles körű felhasználását, és nem csupán mi tudjuk jobb körülmények között tanítani hallgatóinkat, hanem mások is fel tudják használni segédkönyvként akár szaktudománytörténetek, esetleg a történelem oktatásához.

Ekkora témát egyébként egyetlen szerző sem tudna kiegyensúlyozottan tárgyalni, így ez a mi tankönyvünkről sem mondható el. A rokon vállalkozásokhoz hasonlóan nálunk is a görög rész a legterjedelmesebb, hiszen mindenki szívesen foglalkozik a „gyermekkorral” (magyarázatát lásd ott). Korszakokat felölelő fejezeteink látszólag tudományági történetekre bomlanak tovább, valójában azonban az előadásokból nem állanak, nem állhatnak össze az egyes természettudományok

teljes története. Ha egy mondatban akarjuk megfogalmazni, akkor azt mondhatjuk, hogy könyvünk elsősorban a mechanisztikus tudomány kiépüléséről, elterjedéséről és felbomlásának kezdeti szakaszairól szól. Matematikából az axiomatizmus kétezer éves történetére összpontosítottunk, mert úgy gondoltuk, ez tükrözi leginkább a matematika stílusát és történetiségét, továbbá szemléletileg ez volt a legnagyobb hatással a többi természettudományra, elsősorban a fizikára (lásd például Newton). A fizikában is csupán néhány, a fő szempontból általunk a legfontosabbnak és egyben tipikusnak vélt fordulatot dolgoztunk fel. A kémiai részek döntően a szerkezetelmélet változásait mutatják be. Eléggé részletesen tárgyaljuk a biológiai ismeretek fejlődését, de a XIX. században már csak a leglényegesebb kérdésre, az evolúcióra térünk ki. Földtudományokról kizárólag ez utóbbi vonatkozásban esik szó. A XX. század történetét pedig ebben a kötetben kénytelenek voltunk szinte teljesen mellőzni. Ennek két oka van. Az egyiket Derek de Solla Price már a hatvanas évek elején így fogalmazta meg: „A tudósra adható elfogadható értelmezések bármelyikét alapul véve azt is mondhatnánk, hogy a valaha is élt tudósoknak 80–90%-a ma is él és dolgozik. Másképpen is megfogalmazhatjuk: ha egy ma induló fiatal kutató normális hosszúságúnak feltételezett életútja végén pályájára visszatekint, azt tapasztalja majd, hogy az addig véghezvitt tudományos munka 80–90%-a szeme láttára zajlott le és csupán 10–20%-a esik a pályakezdést megelőző időkre.” Vagyis századunk tudománytörténete annyi jelentős eseményt tartalmaz, hogy ez mindenképpen szétfeszítette volna a pillanatnyilag rendelkezésre álló kereteket. Másik okunk, hogy mivel hallgatóink jelentős része éppen csak bekerült az egyetemre, és a legkülönbözőbb előzetes ismeretekkel rendelkeznek, igyekeztünk a szakmai részleteket is úgy megírni, hogy azok középiskolai végzettséggel megérthetők legyenek, a XX. századi tudománytörténet megértéséhez pedig sokszor ez nem elegendő. Mindezek miatt a XX. századot legcélszerűbb lesz majd egy külön kötetben tárgyalni.

Budapest, 1999. október 7-én

A szerkesztők

I. A TUDOMÁNY KEZDETEI

A) Bevezetés

Székely László

Ha a tudomány „kezdeteivel”, „gyökereivel”, „első eredményeivel” szeretnénk foglalkozni, mégpedig minden megszorító értelmezés és meghatározás nélkül, igen nehéz helyzetbe kerülünk. Az a veszély fenyeget, hogy egy olyan egységes, az ókortól napjainkig fejlődő tudomány képét alkotjuk meg, mely fejlődése során fokozatosan halmozta föl a tudományos ismereteket, s szorította ki a tévhiteteket és babonákat, hogy azután e tévedésektől megtisztított ismeretanyag a tudományos „tudás” ma rendelkezésünkre álló épületében összegződjön. Az egységes tudománynak ez az egymást követő korokon folytonosan átívelő, s az ismeretek összegződésével, „kumulációjával” jellemzett *képe*, mely sokáig egyformán jelen volt mind a klasszikus tudománytörténetírásban, mind pedig a tudományos népszerűsítő művekben, *mára már teljesen elavult*. A mai tudományfilozófia és a mai tudománytörténeti ismeretek fényében erősen kétséges, hogy lehet-e a tudomány fogalmára olyan általános definíciót adni, melynek alapján ugyanabban az értelemben beszélhetnénk mondjuk pl. az ókori babilóniai, a görög-római és a mai tudományról. Ha mégis kritikátlanul használnánk e fogalmat a régi kultúrák viszonylatában, ezzel anakronizmust követnénk el: sem a kínaiak, sem a babilóniaiak, sem pedig az ókori görögök vagy rómaiak nem rendelkeztek a mai értelemben vett tudománnyal. Nem arról van szó, hogy nem rendelkeztek a mai „fejlett” tudománnyal, a mai tudományos ismeretekkel, s így „tudományuk” a miénkhez képest „primitív”, „fejletlen” volt, hanem arról, hogy az a kulturális-szellemi mozzanat, amely az újkori európai kultúr- és gondolkodástörténetben „tudomány”-ként határozza meg önmagát, e korábbi kultúrákban nem volt jelen, s ezért *azt, ami az akkori korokban ilyen vagy olyan értelemben „tudomány”-ként szerepelt, eleve értelmetlen összehasonlítani*, és a „fejlettebb-fejletlenebb” relációjába állítani *a mai tudománnyal*. Az akkori kultúrában játszott szerepük, funkciójuk és értelmük szerint ezek ugyanúgy fejlettek vagy fejletlenek voltak, mint mai tudományunk, így az anakronizmust már akkor elkövetjük, ha mai tudományos ismereteinkre hivatkozva vagy a mai tudomány normáit követve minősíteni próbáljuk ezeket a régi ismereteket – függetlenül attól, hogy e minősítést konkrétan miképpen tesszük meg.

Ugyancsak nehezen tartható ma már az a szemléletmód, mely egyrésztől ugyan elismeri, hogy e régi korokban a mai értelemben vett tudomány még nem létezett, ám ugyanakkor úgy véli, hogy e korok mitikus vagy vallásos világképébe beleolvadva már megfogalmazódtak olyan sajátos ismeretek, melyek mai ismereteink birtokában „tudományos” jellegüként különíthetők el a mítoszoktól és a hittételektől, azaz már a ma tudományának jegyében is „tudományos”-nak tekinthetők. Nem nehéz belátni, hogy ez a fölfogás szintén megőrzi a korokon átívelő egységes és egyetemes tudomány képét, s a „tudományos”-nak tekintett elemeket kiemelve szintén mai kritériumok alapján osztályoz és minősít: mindazt, ami az adott korban, az adott kultúrában egységet képezett, mai szemléletünk alapján szétdarabolja, s elválasztja egymástól.

Az utóbbi eljárás mód önkényesen előfeltételezi azt is, hogy léteznek olyan kritériumok, vagy normák, melyek segítségével a tudományos és a mitikus elemek szeparálhatóak. Ezeket a kritériumokat a tudományfilozófia „demarkációs” kritériumoknak nevezi, hiszen a föltételezés szerint segítségükkel lehetséges a tudományos és a nem tudományos eszmék, hitek,

meggyőződések között elkülönítő, „demarkációs” vonalat húzni. A tudományfilozófiai viták nyomán számos korábban működésképesnek hitt demarkációs kritériumról kiderült azonban, hogy nem teljesíti a rá kirótt föladatot, s ma vita tárgyát képezi, hogy egyáltalán megadhatóak-e ilyen kritériumok. A most bírált álláspont képviselőinek először is meg kellene mutatniuk azt, hogy az általuk használt kritériumok kiállják azokat az ellenérveket, amelyek a tudományfilozófiában az eddigi demarkációs kritériumokkal szemben megfogalmazódtak.

Ám ha ez a helyzet, lehetséges-e a tudományok történetét az ókornál kezdenünk? Beszélhetünk-e kínai, egyiptomi, mezopotámiai vagy görög tudományról? Nem volna-e helyesebb a tudomány történetét az újkori európai tudomány történetére korlátoznunk?

Válaszunk e szkeptikus kérdéscsoport első két kérdésére egyértelműen: igen. Igen, lehetséges a tudomány történetét az ókornál kezdeni, s igen, beszélhetünk az ókori tudományról. Beszélhetünk, ám csak egy *redukált, korlátozott* értelemben, mely kizárja az előbbieken bíralt álláspontokat. A következőekben ezt a redukált értelmet fogjuk megadni.

Ha az ókori kultúrák ránk maradt írásos emlékei felé fordulunk, olyan ismeretekkel, összefüggésekkel és szabályokkal, fogalomrendszerekkel, a görögöknél pedig már olyan szisztematikus elméletekkel találkozhatunk, melyeknek megfelelői ma is ismerettként funkcionálnak, s ma kétségkívül a tudomány szférájába tartoznak. Ezért nem követünk el anakronizmust, ha ezekben az ókori ismeretekben mai tudományos ismereteink előzményét, vagy „megelőlegezését” látjuk, anélkül azonban, hogy kiszakítanánk azokat az akkori kulturális környezetből és világképből. Így például az egyiptomiak ismertek a síkbeli alakzatokkal és a testekkel kapcsolatosan bizonyos összefüggéseket, illetve terület és térfogatszámítási eljárásokat. Hasonló ismeretekkel mi is rendelkezünk, s ezeket ma a geometria tudományához rendeljük. Nincs jogunk ennek alapján azt állítani, hogy a geometria tudománya már jelen volt az egyiptomiaknál. A síkbeli alakzatokkal, valamint a terület- és térfogatszámítással kapcsolatos egyiptomi ismeretek nem képeztek sem egy mai értelemben vett tudományt, sem pedig olyan, az akkori mitikus világképben földoldott tudományos jellegű mozzanatok, melyekben mint a kifejezetten vallásos elképzelések ellentételeiben, egy mai értelemben vett tudomány szilánkjait fedezhetnénk föl. Az egyiptomiak számára ezek az ismeretek minden bizonnyal az építkezéseknél, a földparcellák kimérésekor alkalmazható és alkalmazandó szervezési elvek és eljárások voltak, melyek ezen túl még akár kifejezetten vallásos jellegűek is lehettek. Ám ez semmit sem változtat azon a tényen, hogy a most jelzett egyiptomi ismeretek mai megfelelői a modern geometriához, s így a tudományhoz tartoznak, s ezért bennük – nem általában a geometria, hanem – a mai geometriai ismeretek kezdeteit láthatjuk. Ebben a megszorított értelemben beszélhetünk egyiptomi, s szélesebb perspektívában ókori geometriáról, illetve tudományról: e fogalmakat tehát a következőkben sohasem úgy kell értenünk, hogy már akkor létezett kezdetleges formában a mai tudomány, hanem csak úgy, hogy *az akkori – s a görögök előtt jellemzően vallásos – világképbe szintetizálódott ismeretekben jelen voltak olyan elemek, melyek párhuzamba állíthatóak mai tudományos ismereteink és fogalomrendszerünk bizonyos elemeivel.*

E most definiált szűk értelem már lehetővé teszi a számunkra, hogy az ókori tudományról és az ókortól kezdődő tudománytörténetről minden anakronizmus nélkül, értelmesen beszéljünk. Ám e fogalmak tartalma és jelentése ennél erősebbé tehető. Ugyanis tagadhatatlan az, hogy az ókori görög kultúra, az ókori görög világ az európai kulturális, szellemi és társadalmi fejlődés egyik legalapvetőbb forrása és megtermékenyítője volt: a görög kultúra mint forrás nélkül a modern tudományig elvezető gondolkodástörténeti vonal is elképzelhetetlen volna. Ez a vonal természetesen nem kumulatív, nem összegződő: tele van olyan csomópontokkal és radikális

fordulópontokkal, amikor a korábbi fogalmak jelentősen átértelmeződtek, a hangsúlyok módosultak, korábban nem létező szempontok, szemléletmódok és a megítélésnek új kritériumai vetődtek föl – vagy éppen a régiek fordultak visszájukra –, ám a történeti folytonosság abban az értelemben, hogy az új problémák, az új szempontok és az új értelmezések az előzményüket képező régiek nélkül nem jelenhettek volna meg, nem tagadható. Ebben az értelemben létezik egy olyan, ugyan csomópontokkal és törésekkel teli, ám történetiségében mégis folytonos vonal, mely a görög gondolkodástól a mai, európai tudományig ível. Azok a fogalmi konstrukciók, konstrukciós és szisztematizáló módszerek és ismeretrendszerek, melyek e vonal elején – tehát az ókori görög kultúrában – lelhetők föl, bár nem voltak tudományosak a mai természettudomány vagy a mai „tudomány” értelmében, kétségen kívül nemcsak az előző bekezdésben körülírt szűk értelemben, hanem az előbbi gondolkodástörténeti folytonosság alapján is a mai tudomány előzményei. Mivel pedig közismert az, hogy a korai görög gondolkodás jelentős ismeretanyagot vett át az egyiptomiaktól és a mezopotámiaiaktól, s ez az átvett anyag a görög „tudomány” egyik fontos kiindulópontja, ihletője volt, ezen gondolkodástörténeti folytonosság alapján is jogosult az egyiptomiaktól és a mezopotámiaiaktól kezdődő tudománytörténet fogalma. Ami a szűkebb értelmet illeti: e szerint az ókori Kínában vagy Indiában is találkozhatunk „tudománnyal”, s így tekintve tárgyaljuk elsőként Kínának, Egyiptomnak, valamint a Tigris és az Eufrátesz vidéke népeinek tudományos ismereteit.

Végül még egy, igen fontos dologra kell fölhívnunk a figyelmet: az ókori görög kultúra vonatkozásában egy harmadik szempontból is jogosult a „tudomány” kifejezés használata. Az előbb azt írtuk: a mai tudomány előzményei nem voltak a mai értelemben véve tudományok. Nem voltak, mert nem is lehettek: a mai tudomány fogalma a görögség számára ismeretlen volt. Ám a tudomány fogalma már létezett a görögöknél, s ami a görögök számára tudománynak minősült, az nagyban átfedi azt, ami a történeti folytonosság alapján mai tudományunk előzménye. Így tehát az, amit a történelmi folytonosságra hivatkozva ma „görög tudomány”-ként jelölünk meg, jobbára a görögök számára is tudományként funkcionált – még akkor is, ha más értelemben és más jegyek alapján tekintették azt tudománynak, mint amilyen értelemben és jegyek alapján mi itt és most modern tudományunkat tudománynak tekintjük.

B) A naiv, mitikus gondolkodás s a tudomány kezdetei

Székelly László

A gondolkodás kezdete, az első ismeretrendszerek és világmépek kialakulása valamilyen módon az ősi, primitív ember tevékenységével, életével kapcsolódik össze. Bármely sajátosság alapján is különböztetjük meg az emberi lényt az állatoktól, nyilvánvaló, hogy az egyik csak reá jellemző tulajdonság az, hogy az élete során szerzett tapasztalatokat és ismereteket a régi generációk a nyelv segítségével a legfejlettebb állatfajoknál is minőségileg magasabb szinten képesek az új generációk számára átadni. Az új generációk pedig képesek arra, hogy az átadott anyagra már mint adottságra támaszkodjanak és építkezzenek, s ugyanakkor saját tapasztalataikkal bővítsék azt. Az élettapasztalat átadásának ez a kommunikatív és kumulatív módja az egyik előfeltétele volt azon ókori ismeretrendszerek kialakulásának, melyekben az általunk bevezetett értelemben a tudományok kezdeteit fedezhetjük föl. Ezen ismeretrendszerek kialakulása és funkcionálása a nyelvi kommunikáció képessége nélkül elképzelhetetlen lett volna.

Az első ismeretrendszerek tartalma nem az egyik napról a másikra született meg: csíráit és alapjait az archaikus korban összegyűlt tapasztalat, a manipulatív tevékenységekkel, a növényekkel, az állatokkal, s általában a természeti- környezeti élettérrel összefüggő élmények és ismeretek adták. Ezek az ismeretek szorosan összefüggtek az ősi ember mindennapi életével, a megélhetés érdekében folytatott napi küszködéssel, s egy-egy nép vagy népcsoport naiv (azaz közvetlen, még reflexió és elméleti közvetítés nélküli), mitikus tudatában vagy világgképében ötvöződtek.

A mindennapi étellel, a mindennapi tevékenységgel, s ezen belül a létfenntartással kapcsolatos ismeretek és élmények azonban önmagukban kevesek volnának ahhoz, hogy megértsük az archaikus ember világát, a világgal kapcsolatos elképzeléseit, s azt, hogy ezekből miképpen alakultak ki a nagy ókori folyami kultúrák írásos ismeretrendszerei és mitológiái. A praktikus-materialisztikus ismeretek és világgképelemek mellett egy másik, idealisztikus-transzcendens motiváció is kirajzolódik előttünk, ha az ősi kultúrák felé tekintünk.

Mint már említettük, az emberi lény egyik vitathatatlan jellemzője, mely megkülönbözteti őt az állatoktól, az, hogy a nyelv segítségével képes élmények, tapasztalatok, ismeretek átadására, illetve átvételére. Ugyanakkor az ember az állatokhoz és minden más természeti létezőhöz hasonlóan *véges*, azaz képességeiben korlátozott lény. Véges abban az értelemben, hogy élete elválaszthatatlanul hozzákapcsolódik egy lokális, véges időintervallumhoz és tértartományhoz, s véges abban az értelemben is, hogy akarata, törekvései, vágyai korlátokba ütköznek, ezek realizálására rendszerint csak bizonyos esetekben, s csak bizonyos föltételek teljesülésével képes.

Az emberi végesség azonban speciális abban az értelemben, hogy az ember tudatában van e végességének: ő az egyetlen olyan evilági létező, aki *tud* róla, hogy volt idő, amikor még nem létezett, s eljön majd az az idő, amikor már nem fog élni; az egyetlen létező, aki nemcsak érzi, hanem tudja is, hogy élete nem tart örökké, hanem egyszer majd véget ér. S ugyancsak az ember az egyetlen olyan evilági létező, aki tudatosan éli meg azokat a korlátokat, melyekbe akarata, vágyai megvalósítására törekedve ütközik. Az ember ezen végességének saját maga általi fölismerése nem történelmi fölismerés: az ősi korok emberével kapcsolatos leletek egyik karakterisztikus ismertetőjele, hogy már ez az ősi lény is viszonyult a halálhoz, s „gondoskodott” hallottairól: eltemette őket, s tárgyakat helyezett el mellettük, hogy azok fölitélezett túlvilági életük során szolgálják őket. Ahol a halottakkal kapcsolatos kultusz ilyen jeleivel nem találkozunk, legalábbis vitatható, hogy mennyire emberi leletekről van szó, illetve, hogy hol található az ember és az állat közötti skálán az a lény, akitől e leletek származnak. Ott viszont, ahol e kultusz jeleit megtaláljuk, nem szokás vitatni a leletek emberi eredetét.¹

Azt, hogy saját végességének tudata elválaszthatatlanul hozzátartozik az emberhez, „dokumentálják” az archaikus népek mítoszai is, melyek kivétel nélkül tartalmazznak kozmogóniai-kozmológiai mozzanatokat. A kozmogónia az emberi élet véges időintervallumát átfogó végtelen idő története, s az emberi élet véges, korlátozott természeti- földrajzi világát átfogó, hozzá képest végtelen és transzcendens világ leírása: az ember véges világának elhelyezése egy nálánál hatalmasabb, átfogó egészen belül. Ugyanígy az ember saját végességével kapcsolatos élménye tükröződik a mítoszok isteni természetű lényeiben, kiknek hatóképessége, ereje hatókörükön belül – mégha egyébként véges is – a véges emberhez képest gyakorlatilag végtelen, korlátok

¹ Természetesen a negatív kultusz is a kultusz egy formája. Így például a perzsa harcosok azon szokása, hogy halottaikat szándékosan a mezőn hagyták a keselyűk számára, szintén a halottakkal való „törődés” egy kultikus formája volt.

nélküli: ha az esőisten úgy akarja, hogy eső legyen, ebben aligha korlátozhatja bárki és bármi is; ha a szél istene szelet akar támasztani, akkor szelet fog támasztani... S ha ezen utóbbi, istenszerű lények valamilyen formában levezethetőek is még talán a gyakorlati-anyagi jellegű tevékenységből, az e tevékenység során nyert tapasztalatból és a megélhetés igényeiből, a kozmogóniai mítoszok gyakori cselekvője, a világteremtő Alkotó képzelet már egyáltalában nem származtatható ily módon: csak az ember saját végességével kapcsolatos, mitikusan reflektált élményével hozható összefüggésbe.

Saját végességünkről tudni, ezt élményként megélni: ez azt jelenti, hogy megélni valami mást, tudni valami másról, ami korlátoz minket, ami határokat szab számunkra; tudni valamiről, ami nagyobb, teljesebb és átfogóbb, mint mi magunk vagyunk. Ez pedig annyit jelent, hogy képesek vagyunk végességünket érzéseinkben és szellemünk által transzcendálni, meghaladni. A naiv mítoszok teremtéstörténetei és kozmológiái, a világalkotó istenség képzelet, majd később a mindenható egyetlen isten és a keleti kultúrák személytelen, univerzális világtörvényei azt mutatják, hogy az ember világhoz való viszonyában nemcsak saját végességének, hanem egyúttal mindennemű végesség meghaladására is képes, s így képes életérzéseiben, képzeletében eljutni a már nem korlátozott, egyetemes egészig, a föltétlenül és a végtelenig. Ám a végtelen képzeletével rendelkezni annyit jelent, mint magukban hordozni a végtelent és viszonyulni hozzá: az ember véges lény, de úgy véges, hogy végességében magában hordozza a végtelenség mozzanatát. S amíg a tapasztalati ismereteknek és manipulációs képességeknek a nyelv segítségével történő továbbadása ugyan egy minőségileg új, csak az emberre jellemző sajátosság, ám e minőségi újdonságában mégiscsak ugyanabba a kategóriába tartozik, mint az állatok tevékenysége – hiszen az ember létfenntartó tevékenységének részét képezi –, a végtelenség iránti emberi fogékonyság és az ebből fakadó motivációk olyan sajátosságok, melyek kategoriálisan is újak, az állati létben nekik megfelelő mozzanatokkal nem találkozhatunk.

A következőekben ezt az emberi vonást *mint az embernek nevezett létező alapvető antropológiai sajátosságát, az emberi természet véges-végtelen jellegének* fogjuk nevezni, s ehhez kapcsolódóan az embert úgy fogjuk jellemezni, mint aki kozmológiai irányultságú – azaz „kozmológus” – lény.

Az, hogy ez a kozmológiai irányultság az ember semmi másra vissza nem vezethető, eredendő adottsága-e, vagy pedig egy transzcendens világból származik – mint ahogyan ezt a keresztény teológia állítja –; esetleg egy olyan „minőségi ugrás” eredménye, mely a gyakorlati-anyagi szükségletek által létrehozott, materialisztikusan meghatározott „tudat” fejlődésében következett volna be: mindez filozófiai-metafizikai viták izgalmas tárgyát képezheti. Egy tudománytörténettel foglalkozó munkának ugyanakkor nem föladata az, hogy e témakörben állást foglaljon. Mi itt csak annyit állítunk, hogy sem a naiv, mitologikus világképek létrejötte, sem a nagy ókori földművelő kultúrák szintén mitologikus keretben ötvöződő ismeretrendszerének kialakulása nem érthető meg csupán az általunk *praktikus-materialisztikus*ként jellemzett motiváció alapján, illetve a *praktikus-materialisztikus* tevékenységekből származó ismertek segítségével, hanem figyelembe kell vennünk az ember antropológiailag adott kozmológiai irányultságát, mint *idealisztikusnak* nevezhető motivációt is. *E két mozzanat* – az *idealisztikus* és a *materialisztikus* – *kölcsönösen föltételezi egymást*, mégpedig oly módon, hogy talán elsősorban a kozmológiai irányultság az, mely a világ megértésére való törekvést, s ezeknek részeként a tudományos jellegű kérdéseket motiválja, s egyben ez az a mozzanat, amely az ismereteket, valamint a világgal kapcsolatos élményeket világképpé, illetve tudományos jellegű ismeretrendszeré szintetizálja. Ugyanakkor a *praktikus-materialisztikus* tevékenység és az ebből származó élmények és tapasztalat nélkül e

motiváció pusztán a valláshoz, a mítoszokhoz, a költészethez s általában a művészetekhez vezetne el, ezekben nyerne „kielégülést”, s nem alakítaná ki azokat a specifikus világmegértési és -megragadási módokat, valamint ismeretrendszereket, melyeket ma tudományoknak vagy a tudományok elődjének tekintünk. Ebből a szempontból igen érdekes és kifejező a modern, kísérletező természettudomány státusa. A kísérletezés ugyan gyakorlati-anyagi tevékenység, s jellegében nagyon hasonló, mint a mindennapi életet – s általában a megélhetést – szolgáló tárgyak és folyamatok létrehozására irányuló technikai manipuláció, mégis gyökeresen különbözik ettől, hiszen egy teljesen idealisztikus célt szolgál: a gyakorlati alkalmazhatóságot figyelmen kívül hagyó világmegértő törekvés vezérli.

Mondhatjuk azt is: ez az idealisztikus motiváció és célrendszer a tudományos kísérletben kialakította az őt szolgáló, neki egyedül alárendelt sajátos anyagi tevékenységet. Persze ez nem jelentheti azt, hogy e kísérletekhez nem kapcsolódhatnak olyan igények, melyek a technikai-gazdasági fölhasználhatóság szempontjait tartják szem előtt, ám nevetséges volna azt állítani, hogy Galilei lejtőkísérleteit vagy a Michelson–Morley kísérletet nem a természet öncélú megértésének igénye, hanem a technikai-gazdasági alkalmazhatósággal kapcsolatos tényezők motiválták.

C) Az ókori tudomány kezdetei

1. Bevezetés

Székely László

Nem véletlen, hogy a „tudomány kezdetei”-t a tudománytörténet-írás az öntözéses földművelést folytató nagy ókori népeknél fedezi föl. Ez a fajta földművelés megkövetelte gátak és csatornák építését, az időjárás és vízviszonyok változásának megbízható ismeretét, az áradásokkor újra és újra elöntött földeken a parcellahatárok újbóli kijelölését. Mindez igen magasan szervezett társadalmi struktúrát kívánt meg, s ugyanakkor a kedvező földrajzi viszonyok és a korhoz képest fejlett művelési kultúra következményeképpen megtermelt élelmiszertöbblet meg is teremtette e struktúrák gazdasági – mindenekelőtt élelmezésszerű – alapjait, illetve azt, hogy a lakosság egy része a közvetlen mezőgazdasági tevékenységgel fölhagyva városokba szerveződjön, városi körülmények között éljen. A terménytöbblet lehetővé tette azt is, hogy az eredetileg gát- és csatornaépítésre létrejött szervezetek, illetve az ezeket létrehozó és irányító csoportok elszakadjanak eredeti funkciójuktól, s immáron ne csak gazdasági jellegű építkezésekkel, hanem más, elsősorban vallási és hatalmi jellegű építmények megalkotásával, illetve a társadalomnak vallási és hatalmi igényeket kielégítő struktúráival, e struktúrák kiépítésével és kontrolljával is foglalkozzanak.

Ez a már nemcsak közvetlenül gazdasági jellegű összetett tevékenység megkövetelt egy speciális réteget, melynek feladata éppen az volt, hogy hordozza és őrizze az ehhez szükséges ismereteket és képességeket. Az „írástudó” ókori fogalma nemcsak egyszerűen az írni tudó személyt jelentette, hanem azt is, hogy az illető ehhez az ismerethordozó és ismeretőrző réteghez tartozik, s mint ilyen, birtokában van bizonyos ismeretanyagoknak és képességeknek. Természetesen e réteg is strukturálódott, tagjai az általuk hordozott ismereteknek megfelelően más és más helyet, pozíciót foglaltak el benne, illetve megfordítva: helyzetük függvényében adódott tudásuk és feladatuk. Más volt az építmények megtervezésével foglalkozó mérnökök, a gyógyítással foglalkozó orvosok vagy a vallást képviselő papok helye, s más képességekkel rendelkeztek azok

az egyszerű írnokok, akik leírták a nekik lediktált törvényeket, mint azok, akik ezeket megfogalmazták. S megint csak más volt a pozíciója, tudása és az ezekből származó képessége annak, aki utasítást adott e törvények megfogalmazására, annak tudatában, hogy azokat képes is lesz betartatni.

A ránk maradt írásos emlékek arról tanúskodnak, hogy ezen összetett struktúrákon belül jelen voltak már olyan ismeretek, melyeket ma, mai fogalmaink alapján matematikai, geometriai, illetve csillagászati jellegű ismeretekként határozhatunk meg. Mint ahogyan már utaltunk rá, hiba volna persze ezen ismeretekben pl. a mai értelemben vett geometria elemeit látni. Azok az ismeretek, amelyeket ma geometriai jellegűekként jelölhetünk meg – így pl. a kör területének kiszámítása a ma π -ként jelölt szám közelítő értékének fölhasználásával –, semmiképpen sem voltak a modern értelemben geometriai ismeretek: nem képezték egy deduktív rendszer összefüggéseit, hanem esetleges tapasztalaton nyugvó eljárási szabályokat jelentettek, melyeket a földmérés, az építkezés vagy éppen a csillagászati számítások során lehetett alkalmazni. Státusuk ebből a szempontból nem sokban különbözött az olyan „szabályokétól”, mint amilyenek megmondták, hogy az egyes betegségek esetén a gyógyulás érdekében melyik növényekből milyen keverékben kell teát fogyasztani. Igaz, a kör területének kiszámításához hasonló, ma geometriainak nevezhető szabályok ezen utóbbiaknál jóval magasabban álltak a tudás hierarchiájában, s jóval nagyobb megbecsülés övezte őket, de ez azzal függött össze, hogy egyrészt hatékonyabban voltak alkalmazhatóak, másrészt alkalmazásuk nem egyes személyek egészségét, hanem közvetlenül az egész társadalmat érintette: a földmérések, a csatornák nélkül a társadalom gazdasági-materiális alapját alkotó öntözéses földművelés vált volna lehetetlenné, míg a hatalmi vagy vallási építmények összeomlásával a hatalmi és az ideológiai struktúra omlott volna össze. A geometriai vagy matematikai jellegű ismeretek nem azért tartoztak tehát az ismeretek hierarchiájának felsőbb régióiba, mert már tendenciaszerűen megjelent egy olyan gondolkodásmód, mely a mai tudományt jellemzi, s ennek segítségével ösztönösen vagy tudatosan fölismerték volna azt, hogy ezen ismeretek „egzaktabbak”, „elvontabbak”, „általánosabbak” és ezért „tudományosabbak”, mint a kor számára rendelkezésre álló többi ismeret, hanem a társadalom életében játszott funkciójuk, jelentőségük szolgált kitüntettségükhöz alapul.

2. Egyiptom

Székely László

Az ókori földművelő kultúrák komplexitása, működése, illetve a működésükhöz szükséges ismeretek és képességek létrejötte, megőrzése és átadása az új generációknak elképzelhetetlen lett volna pusztán szóbeli kommunikáció alapján. Mint ahogyan erre már az előzőekben utaltunk, igen kifejező, hogy a tudás birtoklása és őrzése e korai korszakokban mindig valamiképpen az „írástudók” fogalmához kapcsolódik.

Legrégibb írásbeli emlékeink főképpen az ókori Egyiptomból maradtak ránk.² A történelmi Egyiptomnak – tehát annak az Egyiptomnak, melynek történetét már írásbeli emlékek alapján ismerjük – első nagy korszakát az Ó Királyság (vagy az Óbirodalom) hat dinasztiaja fémjelzi. E hat dinasztia uralkodása kb. i. e. 2955-től i. e. 2155-ig terjedt: ez az ókori egyiptomi kultúra tulajdonképpen nagy korszaka, melyen belül különösen a harmadik dinasztiatól a hatodik dinasztiaig

² A legrégebb írásbeli emlékeink Mezopotámia és Irán területéről kerültek elő, s nem sokkal i. e. 3000 előttről származnak. Ám ezzel majdnem egyidőben Egyiptomban is megjelent az írás.

terjedő úgynevezett „Piramis Korszak”-ról vannak részletes ismereteink (i. e. 2635–2155). Finomabb korszakolásban csupán a „Piramis Korszak”-ot szokás „Óbirodalom”-ként megjelölni, míg az első két dinasztíára az egyiptológusok manapság többnyire „archaikus kor”-ként hivatkoznak. A „Piramis Korszak” tudománytörténeti szempontból is a legizgalmasabb időszak. Az Ó Királyságot átmeneti, zavaros évek után követte a Középső, majd – egy újabb átmenti korszak után – az Új Királyság (i. e. 2040–1791: XI–XII. dinasztia; i. e. 1550–1070: XVIII–XX. dinasztia).³

Az írás önmagában azonban még nem lett volna elegendő annak a funkciónak a betöltéséhez, melyet az öntözéses kultúrák összetett társadalomszerveződése, hatalmi struktúrái, vallási-ideológiai és praktikus-gazdasági igényei megkívántak. Könnyű belátni azt, hogy a kőszobrok alapzatára, kőtemplomok falaira, vagy éppen a sírokra bevéselt iratok csak korlátozott, s specifikus funkciókat láthattak el. Egyrészt igen nehéz, fáradságos munkával készültek, másrészt gyakorlatilag elmozdíthatatlanok, helyhez kötöttek voltak, s így nem szolgálhattak igazán sem a szellemi kommunikáció, sem pedig a mindennapok által igényelt nyilvántartások céljára. Így szükség volt egy olyan materialisztikus hordozóra is, melyre viszonylag könnyen és gyorsan lehetett írni, hordozható volt, s beszerzése, előállítás sem igényelt különösebb nehézséget.

Ezt a feladatot az egyiptomiaknál egy igen szerencsés, az írás hordozására igen alkalmas találmány, a papirusz látta el. A papiruszt egy olyan sásfaj szárából (az egyiptomi fölhasználásra visszautaló későbbi latin nevén a „*Cyperus papyrus*”-ból) készítették, mely akkor bőven termelt a Nílus-delta mocsaraiban. A papiruszra különböző festékanyagokkal írtak, s ennek során speciális kefécskéket használtak, melyek ugyancsak a Nílus-delta mocsarainak egyik növényfajából készültek. Magukat a papiruszlapokat szélük mentén egymáshoz kapcsolták, s így jöttek létre a jól ismert papirusztekercsek, melyek szélessége 7,5–46 cm között váltakozott, hosszuk pedig a több métert is elérte. (A leghosszabb ismert papirusz a British Múzeum 9999. számú példánya, melynek hossza 40 méter és 42 cm.). A papiruszlapok ily módon történő összekapcsolása lehetővé tette, hogy viszonylag hosszú, összefüggő, illetve egymással kapcsolatban lévő szövegek kerüljenek egy íráshordozóra. A papirusznak azon szerencsés tulajdonsága következtében, hogy az egyiptomi éghajlaton jól konzerválódott, igen nagy mennyiségű papirusztekercs maradt ránk e régi történelmi korszakból. Ami a konkrét használatot illeti, maga a papirusz mint íráshordozó messze túlélte az egyiptómiaiakat: népszerű volt mind a görögök, mind a rómaiak, mind pedig a kora középkor arab és európai írástudóinak körében. (Ezt őrzi nyelvünkben a „papír” szó, mely a ma legelterjedtebb íráshordozót jelöli. Természetesen a mai papír csak íráshordozó minőségében rokon a papirusszal, konkrét mibenlétében nincs sok köze hozzá.)

Az ókori egyiptomi írásjelek a jól ismert „szent vésetek”, a hieroglifák voltak. A korai egyiptológia vélekedésével, s a köztudatban még ma is élő hittől szemben az egyiptomi írás nem a képírás kategóriájába tartozott: a hieroglifák egy részének egyszerre volt a képírást jellemző fogalmi, s a fonetikus írásnak megfelelő fonetikus értéke. Maga a hieroglifikus írás a képszerű szimbólumokat használó fogalmi írás és a fonetikus írásmód sajátos ötvözetét képezte, ahol a fogalmakat és a hangokat jelölő szimbólumok kölcsönösen föltételezték egymást.

Az ókori Egyiptom tudományáról három közvetlen forrásból vannak ismereteink. Az egyik forrásként adva vannak az ókori Egyiptom máig fennmaradt építészeti alkotásai, s egyéb műtárgyai. A piramisoknak már pusztán létéből kikövetkeztethető, hogy építőik igen fejlett

³ Itt és a következőkben az évszámokat többnyire Kákósy László legújabb könyvét követve adjuk meg (*Az ókori Egyiptom története és kultúrája*. Osiris, Budapest, 1998). A klasszikus tudománytörténeti művekben az évszámok eltérhetnek az itt megadottaktól.

gyakorlati geometriával, illetve e geometrián alapuló mérnöki ismeretekkel rendelkeztek. A piramisok gúlaalakja olyan kőtömbökből áll össze, melyek formáját, méreteit már a kőfejtőben kialakították: elkészültük után csak odaszállították őket az építkezéshez, s minden utólagos formálás nélkül elhelyezték a megfelelő helyre. Ezért ahhoz, hogy elkészüljön a kívánt építmény, geometriailag előre pontosan meg kellett tervezni részeit, s egymásra helyezésük rendjét. Ugyanígy nagyfokú geometriai pontossággal kellett megtervezni azokat a labirintusjáratokat, melyek a rejtett sírkamrához vezettek. Arról, hogy milyen precizitást értek el az egyiptomi mérnökök a piramisok építése során, tanúskodnak a művek, melyek egyikéről, a negyedik dinasztiához tartozó Kheopsz fáraó számára épült Nagy Piramisról F. Petrie a következőket írja:

„... a 755 lábnyi oldalakon az átlagos hiba 1 a 4000-hez, egy olyan érték, mely akkor keletkezik, ha egy réz mérőléc hőmérséklete 15°C értékkel megváltozik. A derékszögek hibája egy ívperc, 12 ívmásodperc. A vízszintes szintek közepes hibája a különböző oldalak között 5 inch vagy 12 ívmásodperc. Az ötvenlábnyi rövidebb hosszokon pedig csak 0,02 inch-et tesznek ki a különbségek.”⁴

Petrie hasonlóan nagy precizitást figyel meg egy szarkofágot vizsgálva, majd megjegyzi:

„Hajlamosabbak vagyunk azt föltételezni, hogy ez egy optikusnak, nem pedig egy kőművesnek a műve.”⁵

Ami a piramisokat illeti: minden írásos emlék nélkül is nyilvánvaló, hogy több ezer, de inkább több tízezer ember munkájával építették őket. Ennyi ember munkájának az összehangolása pedig igen komoly szervezésbeli tudást és képességeket kívánt meg: harmonikusan és gazdaságosan meg kellett szervezni a munkacsoportok tevékenységének egymással való kapcsolatát, a mozgások, a szállítások ütemét és útját, az építő tömegeknek – melyek a sokáig tanított tévhittel szemben nem rabszolgákból, hanem az építésre berendelt szabad parasztokból tevődtek össze – az élelmezését, elhelyezését stb. Mindez olyan kalkulációkat kívánt meg, melyek megfelelő számfogalmat és bizonyos számítási ismerteket előfeltételeztek. A piramisok ezért közvetve nemcsak építőik geometriai, hanem matematikai ismereteiről is tanúskodnak.

Hasonlóképpen jelen tanúskodnak e régi építmények az asztronómiai ismeretekről is. A piramisokat és a templomszerű épületeket pl. az észak-déli irány szerint tájolták, s az épületekben bizonyos kitüntetett irányok egyes fényesebb csillagok horizont fölé emelkedésének helyét jelölik ki. A sírokban meglelt múmiák pedig a különböző anyagok konzerváló hatásával kapcsolatos egyiptomi ismeretekről adnak fölvilágosítást.

Az eddigiek alapján láttuk tehát, hogy pusztán a tárgyi emlékek is igen informatívak az ókori egyiptomi tudományos ismereteket illetően. Azt is láttuk, hogy ezek nyomán olyan ismeretekre következtethetünk, melyeket az akkori egyiptomi kultúra mindennapjai, tevékenységkörei előfeltételeztek. Lehet-e ebből arra következtetni, hogy egyszerűen a társadalmi szükségletekből, a társadalom fönmaradásának, megélhetésének igényeiből, a társadalom gazdasági- anyagi alapjából fejlődött ki, s e tényezők által motiváltan őrződött meg ez a tudás? A válaszunk erre egyértelműen: nem. Igaz, mindazok az ismeretek, melyek a Nílus áradásainak előrejelzéséhez vagy a csatornák építéséhez, a földek fölparcellázásához voltak szükségesek, mindenképpen ilyen

⁴ F. Petrie: *Wisdom of the Egyptians*, 89. o.

⁵ Uo.

anyagi funkciókhoz kapcsolódtak. Ám a piramisok építése vagy a mumifikálás olyan tevékenység, melyet nem követelt meg a társadalom anyagi-gazdasági fönnmaradása. Igaz, az anyagi szükséglet fogalmát vehetjük szélesebb értelemben is. Beleérthetjük a hatalmi struktúra fönntartásával és működésével kapcsolatos tényezőket, a társadalmi kohéziót, a szociális csoportképződés és összetartozás igényét, valamint a mindennapi élet szabályozása szempontjából szükséges ideológiákat – ám talán a jelentős geometriai és matematikai ismeretekről tanúskodó piramisokat ezek szempontjából is fölöslegesnek tekinthetjük. A vallási szertartások számára helyet szolgáló, vagy velük kapcsolatban lévő építmények azok, melyeket ilyen szempontból szükségességek tarthatunk, (bár már az evilági funkció ezeknél is elválaszthatatlanul összeolvadt egy transzcendens, a praktikum világán túlmutató mozzanattal). A piramisok és a mumifikálás esetében azonban mindennél nyilvánvalóbb, hogy bennük a véges, de a végességéről tudó, s azt transzcendálni, meghaladni képes embernek az örökkévalósághoz való viszonya jelenik meg, s megépítésüket az anyagi-gazdasági szükségletekkel szemben az ezzel kapcsolatos ideális cél inspirálta. Szűkebb értelemben egyetlen személynek, az építető fáraónak az örökkévalóságra való törekvése az ideális cél, ám általánosabb értelemben és mélyebb megközelítésben a piramisokban egy egész kultúra gigantikus kísérlete fejeződik ki az ember időbeli végességének meghaladására. Ezért mindazon ismeret, tudás és képesség, mely látszólag egy praktikus célra, a piramisépítésre irányult, s ennek a célnak volt alárendelve, valójában egy ideális célt szolgált: a végtelent, illetve a végtelen által megérintett véges embernek azt a vágyát, hogy saját végességét leküzdve elérje ezt a végtelent.⁶

Az ókori egyiptomi ismeretek másik forrása ugyancsak kapcsolatban van az előbb tárgyalt építményekkel: a különböző oszlopokra, kőfalakra, sírkamrákra és szarkofágokra vésett hieroglifákról és nem hieroglif képekről van szó. A harmadik forrás pedig az a több ezer papirusztekercs, mely a ránk maradt hieroglifák túlnyomó többségét tartalmazza. Ami a tudománytörténetet illeti: a papirusztekercsek e bősége határozottan csökkenti az előbbi vésetek jelentőségét. E véseteknek nem annyira konkrét tartalmuk informatív ereje miatt, mint inkább az egyiptomi írás fejlődéséről adott tanúságuk, valamint a papiruszokon föltároló szövegek előzményeinek, forrásainak szempontjából érdekesekek.

A következőkben röviden bemutatjuk a papiruszokon előttünk föltároló egyiptomi matematikai, geometriai, asztronómiai és orvosi ismereteket, illetve fogalmi eszközöket.

a) Matematika és geometria

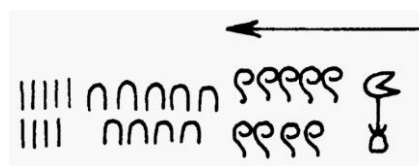
Az első dinasztia előtti időkből ránk maradt egy királyi jogar, mely azt mutatja, hogy az egyiptomiak már az archaikus időkben is igen fejlett számfogalommal rendelkeztek: a jogaron 120 000 fogoly, 400 000 ökör és 1 422 000 (!) kecske zsákmányul ejtését jegyezték föl.

Az egyiptomi matematikai-geometriai ismeretekről közvetlen információt főképpen két későbbi, kifejezetten matematikai-geometriai tárgyú papiruszon találhatunk: az úgynevezett londoni Rhind-, és a moszkvai Goleniscsev-papiruszon találhatunk. E két papiruszon katalogikus, tankönyvszerű összefoglalásban találkozhatunk az egyiptomi matematika és a geometria legfontosabb eredményeivel. Különös véletlenként mindkét papirusz 5 méter 44 cm hosszú, ám amíg a Goleniscsev-papirusz csak 8 cm, a Rhind-papirusz 33 cm szélességű, s így ez az utóbbi

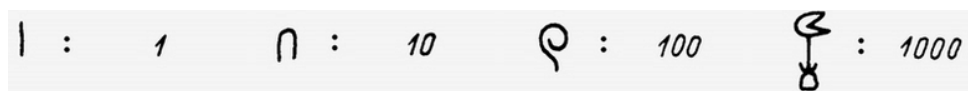
⁶ Maguknak a vallási szentélyeknek és a hozzájuk kapcsolódó építményeknek a jellege már nem volt ennyire egyértelmű: ezek egyszerre láttak el evilági, szociális funkciókat, s elégtették ki az örökkévalósággal, a végtelennel, a transzcendenciával kapcsolatos antropológiai igényeket.

tartalmában jóval gazdagabb és informatívabb, mint a másik. A két papirusz közül az előbbi az i. e. 1785-ban kezdődött Tizenharmadik Dinasztiát jelöli meg keletkezése dátumaként, az utóbbi az i. e. 17-ig századból származik, ám egy korábbi, a Tizenkettedik Dinasztiából származó papirusz másolata. Így e papiruszokon közel négy évezreddel ezelőtti ismeretek tárulnak föl előttünk!

Az egyiptomiak az általunk is ismert tízes számrendszert használták, s a számok jelölésének logikája a mi jelölésünkre hasonlított, azzal a különbséggel, hogy ők nem ismerték a helyiértéket. Pl. az 1995-ös számjel a mi helyiértékes írásmódunkban gyakorlatilag az $1000 + 900 + 90 + 5$ összeget jelöli. Az egyiptomiaknál a tízes számrendszer logikájának és a helyiérték hiányának megfelelően külön jele volt az egynek, a tíznek, a száznak, az ezernek stb., egészen az egymillióig, míg ezeknek a 2-től 9-ig terjedő egészszámú többszöröseit ugyanazon jel többszörös egymás mellé – és egymás alá – írásával fejezték ki. Így – figyelembe véve azt, hogy az egyiptomi írás jobbról balra haladt – az 1999-es számot a következőképpen írták le:



ahol a szimbólumok jelentése:



A számok írásbeli jelölése természetesen jóval többet jelent annál, minthogy az írásbeli szövegekben a mennyiségi viszonyok regisztrálását, megörökítését lehetővé teszik. A számok írásbeli jelölésének alkalmas módjai egyben radikális változást jelentettek a számfogalomban is: *elérhetővé és kezelhetővé teszik az olyan nagy mennyiségeket, illetve az olyan bonyolult mennyiségi viszonyokat, melyek az érzéki-tapasztalati világban már nem ragadhatóak meg, s szemléletesen sem képzelhetőek el.* Ez igaz az egyiptomiak esetében is, akik számára a számok írásbeli jelölésének technikája lehetővé tette, hogy azokat a műveleteket – így az összeadást, az elvételt, a többszörözést és a szétosztást –, melyek a kis, érzékileg-tapasztalatilag átlátható mennyiségek viszonylatában hozzá tartoztak mindennapi életükhöz, kiterjesszék a nagyobb, immár csak írásbelileg megragadható mennyiségi viszonyokra is.

Ahhoz, hogy jobban megértsük ennek a jelentőségét, figyelembe kell vennünk, hogy amikor itt a „nagyobb” mennyiségi viszonyokra gondolunk, ebbe már a százas nagyságrendet is beleértjük. Igaz, számunkra ezek jelen vannak mindennapi életünkben, s százas összegek fejbeni összeadása, kivonása természetes a számunkra – gondoljunk csak pl. a pénzhasználatra –, ám nem szabad elfelejtenünk arról, hogy mi már egy olyan kultúrában nevelkedtünk, mely egy igen elvont és kidolgozott számfogalommal rendelkezik. Ha pl. a 122 és 131 különbségéről, vagy arról, hogy 225-ben a 25 9-szer van meg, igen határozott képzetünk van, akkor ez nem választható el az írásbeliségtől, mindattól a tudástól és szabályoktól, amit a számokról és a számokkal kapcsolatosan elsajátítottunk, s melyek az írásbeliség nélkül elképzelhetetlenek volnának.

Az egyiptomiak használták mind az összeadást, mind a kivonást, mind pedig a szorzást és az osztást. Igaz, ez a két utóbbi igen eltért attól, amit mi ma szorzáson és osztáson értünk: e műveletek az egyiptomiak számára duplázásokból és összeadásokból képzett bonyolult eljárások voltak, melyeket az osztás esetében kiegészített még a kísérletezés is. A $14 \cdot 3$ szorzatot pl. mai

jelöléssel a következő logika alapján számították ki: $2 \cdot (2 \cdot (2 \cdot 3)) + 2 \cdot (2 \cdot 3) + 2 \cdot 3$. Az osztást az $A \cdot X = B$ egyenlet próbálgatásos megoldásával szintén a szorzásra vezették vissza, ahol A az osztandót, B az osztót jelöli, s az eredményt az egész- és törtrész összegeként írták föl.

Ezzel elérkeztünk az egyiptomi matematika egyik igen összetett, kifinomult és komoly ismereteket kívánó, ugyanakkor mai szemmel nézve igen nehézkes területéhez: az egyiptomiak törtfogalmához, s a törtek egyiptomi kezeléséhez. Az egyiptomi kultúra – leszámítva az $1 - 1/n$ alakú $2/3$ -ot és $3/4$ -et – csak az $1/n$ alakú elemi törteket ismerte el törtszámként, az ettől eltérő törtektől „megtagadták” a „szám” státuszát. Ennek következményeképpen az osztás és a tört számokat tartalmazó egyéb műveletek eredményének törtrészét mindig $1/n$ alakú, egymástól különböző nevezőjű törtek összegévé számították át, ami igen elmés, bár nehézkes, bonyolult módon történt. Például a $12/5$ osztás befejezését nem a $2 + 2/5$ összeg fölírása jelentette, hanem a műveletet tovább kellett folytatni addig, amíg a $2/5$ törtrész $1/15 + 1/3$ alakú fölbontásáig el nem jutottak.

Ez az eljárás az egyiptomiak számfogalmával, illetve a számok kifejezésére szolgáló nyelvi eszközeikkel függött össze, bár elképzelhető, hogy egyéb motivációi is voltak. A számfogalommal és a nyelvvel való kapcsolatot támasztja alá az is, ha a fölbontás logikáját tekintjük. Hiszen egy törtet számtalan módon bonthatunk föl elemi törtekre, s így értelmes rákérdeznünk arra, hogy miért pont a hieroglifákon olvasható fölbontásokat választották. A közelebbi vizsgálódás megmutatja, hogy e fölbontás szoros kapcsolatban volt a $2/3, 1/3, 1/6, 1/12 \dots$ és az $1/2, 1/4, 1/8, 1/16 \dots$ sorozatokkal. *E sorozatok első tagjai – az $1/2, 1/4, 2/3, 1/3$ – azok a törtek, melyeket az egyiptomiak külön jellel vagy kifejezéssel jelöltek.* Így e tagok a természetes számokhoz hasonló alapfogalmakként szerepeltek. Maguk a sorozatok pedig e kiemelten kezelt törtekből az egyiptomi matematikában hangsúlyozott szerepet játszó *duplázás* műveletének *inverze*, a *felezés* által jöttek létre. Az írásos emlékeken ránk maradt számítások azt mutatják, hogy az egyiptomi számolók lehetőség szerint arra törekedtek, hogy a törtek végső, $1/n$ alakú törtek összegéből álló formája a fönti sorozatok legalább egyikének valamely elemét – mégpedig minél előrébb lévő elemét – tartalmazza.

Ha figyelembe vesszük a törtek használatának most bemutatott módját, érthetővé válik, hogy a tárgyalt tört- fölbontások igen nagy szerepet játszottak az egyiptomi számítások során. Ezért érthető, hogy a Rhind-papirusz szerzője, ki minden tudás és titok átadását ígéri, mindjárt egy ilyen fölbontásokat tartalmazó táblázattal kezdi. E táblázat – s talán más hasonló típusú táblázatok is – az írnokok között közkézen foroghattak, s megkímélték őket attól a fáradságtól, mellyel e fölbontások újból és újból történő előállítására, „kiszámítására” járt volna.

Az említett matematikai papiruszok tartalmuk nagyobb részében egyébként egy olyan mai középiskolás példatárra emlékeztetnek, melyben a föladatok kidolgozva találhatóak meg. „Osszunk szét hét cipót (egyenlő mennyiségben) tíz ember között” – hangzik például a Rhind-papirusz 4. problémája. „Minden ember $2/3 + 1/30$ cipót kap” – hangzik a válasz, majd a „bizonyítás” következik a megadott érték tízzel való összeszorozásával, mely valóban hetet ad eredményként. A felsorolt problémák többsége elsőfokú, egy ismeretlenes egyenletnek felel meg, ami persze nem azt jelenti, hogy valóban ilyen egyenletekkel találkozhatnánk.

A geometriai jellegű ismeretek is numerikus számítások formájában szerepelnek. Így a Rhind-papiruszon egy kör alakú, d átmérőjű és h magasságú magtár térfogatára mai jelölés technikákkal írva a $(d - 1/9d)^2 h$ értéket találhatjuk, mely a $\pi = 3,16$ értéknek felel meg. A csonka gúla térfogatát viszont a moszkvai papirusz tanúsága szerint már a ma is helyesnek tekintett $V = (h/3)(a^2 + ab + b^2)$ formulának megfelelően számolták ki. Az, hogy Püthagorasz tételét az

egyiptomiak ismerték-e, vitatható: csak közvetett állítások maradtak ránk erről. Viszont a 6619. számú berlini papyruszon megtalálható egy olyan probléma helyes megoldása, mely az $x^2 + y^2 = 100$ egyenlettel ekvivalens: ez az egyetlen olyan „papyrusz-információ”, mely kapcsolatba hozható a híres geometriai tétellel.

b) Csillagászat

Az egyiptomi asztronómiával kapcsolatosan közhelyszerűen szokás emlegetni a Sirius első hajnali megjelenésének és a Nílus tavaszi áradásának időbeni egybeesését, illetve azt, hogy az ókori Egyiptom papjai a Sirius-csillag megfigyelésére alapozva rendszeresen előre jelezték a Nílus áradásait. Valójában azonban ennek nincs különösebb tudománytörténeti jelentősége: egyrészt Nílus áradásai nem követték pontosan a Sirius első megjelenését, másrészt pedig maga a Sirius elég fényes csillag volt ahhoz, hogy pár nappal első megjelenése után már bárki észrevegye, ha a hajnalodó égboltra tekint. A Nílus áradásainak előrejelzése így nem tett túl a megszokásosabb „népi” asztronómián: az olyan előrejelzéseken, amelyeket már az archaikus népeknél megtalálhatunk, s amelynek még alig száz éve jellemzőek voltak a magyar paraszti világban is – gondoljunk csak pl. a Fiastyúk és az őszi hidegek megérkezése közötti kapcsolatra. Boleslaw Prus nevezetes regényével ellentétben arról sincsenek komoly információink, hogy az egyiptomi papok képesek lettek volna a napfogyatkozások, vagy más hasonló csillagászati konstellációk előrejelzésére.

Ugyanakkor az egyiptomi naptár azt bizonyítja, hogy az egyiptomiak jól ismerték a Nap és a Hold látszó mozgásának periódusait. Ugyancsak az egyiptomi megfigyelő csillagászat fejlettségéről adnak tanúbizonyságot a ránk maradt napórák, vagy az a műszer, melynek segítségével a csillagok azimutját határozták meg. Igen fontosak, s minden bizonnyal a naptárkészítést szolgálhatták azok a táblázatok is, melyek az ekliptika alatti jelentősebb csillagok, csillagképek hajnali kelésének időpontját – azaz ezeknek a Naphoz képest megadott relatív helyzetét – rögzítik. Megfigyeléseik során az ekliptika övét 36 részre osztották az alatta található legjellegzetesebb csillagok és csillagképrészletek alapján, hogy ezáltal a csillagos ég egy-egy tartományának első hajnali kelését könnyen azonosítani lehessen. Mivel átlagosan minden tizedik napban jelent meg a hajnali égbolton egy-egy újabb ily módon meghatározott csillagcsoportosulás, ezeket később dekánoknak nevezték el.

Az első egyiptomiak kalendáriumukat először a Hold mozgására alapozták, ám e mozgás egyenlőtlenségeit észrevéve hamar áttértek a szoláris (a Nap látszólagos mozgásán alapuló) kalendáriumra. Bár a Sirius keléseit a Nílus áradásainak kedvéért figyelték meg, az egyszerű „népi” asztronómián túlmutató konzekvenciája ennek a tudatos csillagászati tevékenységnek a naptárkészítésben mutatkozott meg: az évek sokasága alatt összegyűlt adatok nagy segítséget jelentettek abban, hogy pontosan fölismerjék az Nap-év hosszát és jelentőségét. A korábbi Hold-naptár és az új Nap-naptár összekapcsolásából született meg a tizenkét hónapot és öt kiegészítő napot tartalmazó 365 napos év. Mivel egy év valójában kb. 1/4 nappal hosszabb ennél, a csillagászati és a polgári naptár szétvált egymástól: a Sirius-nak a csillagászati év kezdetét jelző heliakus (a Nappal együtt történő) kelése a 365 napos polgári év kezdetéhez képest négyévente egy egész nappal eltolódott, s csak a „Sirius-ciklus” – 1460 év – után esett újból egybe a polgári év kezdetével.

Az egyiptomi naptár most ismertetett logikája a görög és a római naptáron keresztül áthagyományozódott egészen napjainkig. Ezzel kapcsolatosan említést érdemel, hogy amikor Julius Caesar Rómában i. e. 45-ben bevezette a 365 + 1/4 hosszúságú évet, egy egyiptomi görög

tanácsára hallgatott, aki jól ismerte a hagyományos egyiptomi naptár jellegzetességeit, a csillagászati és a polgári naptár eltérését, s ennek alapján fogalmazta meg javaslatát.

Mai szoláris naptárunknak tehát mind logikailag, mind történetileg az ókori egyiptomi csillagászati naptár az előde. De a kétszer tizenkét órás napbeosztás is az ókori Egyiptomig nyúlik vissza. Konkrétan: mivel éjszaka a napóra használhatatlan volt, az egyiptomiak éjszakánként a dekánok fölkelésével mérték az időt. Mivel a Sirius-év első napján az egyiptomi földrajzi szélességeken a 36 dekánból 12 dekán fölkelését lehetett éjszaka megfigyelni, az éjszakát tizenkét részre osztották. Ebből alakult ki görög közvetítéssel a ma használatos 2 x 12 órás napbeosztás.

c) Az orvostudomány

A sírfalakon, sírköveken található régi vésetek, ábrák nemcsak azt mutatják, hogy az orvosi mesterség a legősibb egyiptomi mesterségek közé tartozik, hanem az is kiderül belőlük, hogy már igen korán specializálódott a különböző testrészek szerint. Így tudomásunk van egy negyedik dinasztiai fogorvosról, vagy arról, hogy a Hatodik Dinastiában megkülönböztették a szem, a gyomor és a belső nedvek orvoslásának szakértőit. Ezek az emlékek alapján igen valószínű, hogy a későbbi korokból ránk maradt hét legfontosabb orvosi papirusz tartalmának jelentős része korábbi időszakokból származik.

Az orvosi témájú papiruszok közül a legjelentősebb a Smith- és az Ebers-papirusz, melyek együttesen a szóban forgó hét papirusz 3/4-ét teszik ki. Mindkét papirusz összefoglaló jellegű, és szisztematikusan, értekezésszerűen sorolja föl a különböző testrészek betegségeit, valamint a javasolt gyógymódokat. Külön említésre méltó, hogy mindkettő tartalmaz olyan szó-, illetve fogalommagyarázó jegyzéket, mely a mai szakmai értelmező szótárakhoz hasonlítható. Ennek alapján talán nem erőltetett arra következtetnünk, hogy az orvostudomány már akkor is speciális nyelvezetet és fogalmakat használt, s az utóbbiakat ugyanúgy el kellett sajátítania a közönséges nyelv segítségével a gyógyítás mesterségével ismerkedő tanulónak, mint ahogyan egy-egy szakma megtanulásához ma is hozzátartozik a szakma speciális szókincsével való ismerkedés.

3. Mezopotámia

Székely László

Az a másik nagy ókori öntözéses földművelést folytató kultúra, melynek keretei között a görög tudomány forrásául is szolgáló ismeretek gyűltek össze, a mezopotámiai. Amíg azonban Egyiptom esetében a földrajzi terület és a kultúrát alkotó nép szorosan kapcsolódott egymáshoz, hiszen a Egyiptomban évezredek keresztül egy és ugyanazon nép élt, az ókori Mezopotámia egymást követően három nagy népnek adott otthont: a suméroknak, az akkádoknak és az asszíroknak. Ennek ellenére mégis jogosult a mezopotámiai kultúráról egyes számban beszélni: a későbbi hódítók ugyanis átvették, s továbbépítették a leigázott sumérok kultúráját, s ha a mindennapokban a sumér nyelv el is vesztette jelentőségét, megmaradt a műveltséget hordozók, az „írástudók” nyelveként, ahhoz hasonlóan, ahogy Európában is sokáig a görög és a latin nyelv virágzott a művelődés, a vallás és a tudomány: a „könyvek” nyelveként.

Az akkádok az i. e. XVI. században igázták le a sumérokat, s bár a sumér terület hamar visszanyerte függetlenségét, Sumériát és Akkádiát ettől kezdve közös király uralta. Közülük a legnevesebb és legismertebb Hammurapi, aki i. e. 1728–1686-ig uralkodott: az ő uralkodásának időszakára esik a sumér kultúra „aranykorszak”-a, az ő fővárosa volt a híres Babilon, melynek nevét fölhasználva e vidéket ettől kezdve egyszerűen csak Babilóniaként emlegették. A Hammurapi

uralkodását egy hosszabb, anarchikus periódus követte, ami az i.e. VII. században, az asszír birodalom megszületésével ért véget, majd ezután Nagy Sándor hódítása és a hellenisztikus Szeleukida-korszak következett. Az asszírokra utalva az ókori Mezopotámia kutatóit „asszirológus”-oknak szokás nevezni, bár kétségen kívül helyesebb volna a „sumerológus” elnevezés, hiszen az Asszír Birodalmat is a sumér kultúra dominálta.

A Szeleukida-korszakkal kapcsolatosan fontos hangsúlyozni, hogy már a hellenizmus világához tartozik, így igen félrevezető az a gyakorlat, mely e korszak ismereteit is az ókori Mezopotámia vagy Babilónia címszó alatt, a prehellén világgal egy fejezetben tárgyalja. Mi a neves tudománytörténészt, Sartont követve és a mezopotámiai tudomány kiváló kutatójától, Otto Neugebauer-től eltérően a Szeleukida Mezopotámiával a hellenizmus tudományának tárgyalásakor fogunk foglalkozni.

Az egyiptomi írás esetében láthattuk, hogy külalakja szerint a képirás jellegzetességeit őrizte meg, míg logikájában sajátos módon ötvöződött egymással a képirást jellemző fogalomjelölő és a fonetikus írásmód. Ezzel szemben a sumérok ékírásos írásjeleket használtak, amelyek természetesen szintén a képirásból fejlődtek ki, ám már jóval távolabb estek attól, mint az egyiptomi hieroglifák. Ami írásuk logikáját illeti, itt a sumérok elmaradtak az egyiptomiak mögött abban a tekintetben, hogy nem jutottak el a fonetikus jelekig: a szimbólumok fogalmakat vagy szótagokat jelöltek számukra.⁷

A képirás ékírásá történő átalakulása a tipikus sumér íráshordozóra, az agyagtáblára vezethető vissza. Amíg ugyanis a papiruszra szabadon lehetett színes ábrákat, szimbólumokat festeni vagy rajzolni, az égetés előtti puha anyagtáblákba vésett rajzolatok szükségképpen csak vonalszerű elemekből állhattak: a képszerűség megőrzése technikai okok miatt annyira lelassította volna az írás folyamatát, s annyira megnövelte volna a szimbólumok méretét, hogy az gyakorlatilag alkalmatlanná vált volna funkcióinak teljesítésére.

Az agyagtáblák mint íráshordozók, a papirusztekercsektől eltérően, csak rövid szövegek rögzítésére voltak alkalmasak, ezért a nagyobb írásművek csak nehézkesen kezelhető táblasorozatokon fértek el. Ennek következtében a suméroktól nem maradtak ránk olyan hosszú, könyvszerű szövegek, mint amilyenek a papirusztekercseken találhatóak; a többlépcsős írásokat csak szerencsés esetben, s ekkor is csupán fáradságos munkával lehet reprodukálni. Ám nemcsak az utókor számára okozott problémát az ékírásos táblák ezen fogyatékosága. Annak érdekében, hogy a táblákra töredezett szövegeket egységként megőrizzék és olvashatóvá tegyék, szisztematikus elrendezésű könyvtárakban tárolták őket. Több ilyen könyvtárat is sikerült meglelni az ásátások során, s ezekből agyagtáblák ezrei kerültek napvilágra. Ez azért is igen fontos, mert a sumér–babiloni kultúrából nem maradtak ránk olyan impozáns emlékek, mint a piramisok, s így az ókori mezopotámiai kutatói szinte teljesen az írásos emlékekre vannak utalva.

a) A babilóniai matematika

A sumér számrendszert a hatvanas rendszer dominálta, ám ennek alárendelve magában foglalt tízes rendszerű elemeket is. Így a rendszer kitéüntetett elemei közé tartoztak 60 egész számú hatványain túl a $60^n \times 10$ formátumú értékek is: 1, 10, 60, 600, 3600, 36 000, ... Szemben az egyiptomiakkal, a sumérok ismerték és használták a helyiértékes jelölésmódot, ám nem rendelkeztek a nulla szimbólummal, hanem azokat a helyeket, ahová mai logikánk szerint a nulla

⁷ Természetesen itt az „elmaradtak” ige használata csak akkor helyénvaló, ha a fonetikus írást elvontabb, s fejlettebb írásnak tartjuk, mint a fogalomírást. Az, hogy valóban így áll-e a dolog, vita tárgyát képezheti.

kívánczított volna, egyszerűen üresen hagyták. Mivel a számvégi „nullák” így teljesen jelöletlenül maradtak, a számok értéket nemcsak magában a szám írásbeli jele, hanem e jel és a kontextus egyszerre adta meg. Pl. azt, hogy egy sumér ékírási táblán 1-ről, 60-ról, 3600-ról stb. van szó, csak a szövegösszefüggés alapján lehetett eldönteni. A nulla használatával kiegészített helyiértékes írásmód csupán a hellenisztikus Mezopotámiában, azaz Szeleukidák idejében jelent meg.

A mezopotámiaiak azonban nemcsak a helyiértékes jelölésmódot fedezték föl, hanem azt is, hogy a törtek és az egész számok kezelése ekvivalenssé tehető, ha a törteket is hexadecimális helyiértékes rendszerben ábrázoljuk. Így például az öttel való osztás helyettesíthető a 12/60-dal való szorzással, ez pedig a hatvanas számrendszerben a 12-vel való szorzással ekvivalens, hiszen csak az egész és a tört rész közötti elválasztójelet kell a végeredményben eggyel bal felé tolni, s a 12-vel való szorzás eredményéből máris a 12/60-dal való szorzás – azaz az öttel való osztás – eredményét kapjuk meg. *Ez a fajta törtjelölési és törtszámítási mód lehetővé teszi olyan számítások viszonylag egyszerű elvégzését, melyek az egyiptomi módszerrel gyakorlatilag kivitelezhetetlenek lettek volna, s mint ilyen, előkészítették a Szeleukida kor Babilóniájának matematikai asztronómiáját.* Ám nemcsak a hellenisztikus Babilónia, hanem az ókori görög csillagászat nagy összegzője, Ptolemaiosz is a mezopotámiai hatvanados számítási technikával dolgozott. Hasonló logikájú törtkezelési technika a modern Európában csak pár száz évvel ezelőtt, a XVIII. században jelent újból meg a tizedestörtek formájában.

Mivel a prehellenisztikus mezopotámiai matematikai szövegek túlnyomó része a Hammurábi-dinasztia korából – azaz i. e. 1800–1600-ból – maradt ránk, e most leírt számítási technika legalább négyezer éves. Ugyanakkor minden alapunk megvan ahhoz, hogy még ennél is korábbiak tekintsük, hiszen e szövegekben már kifejezett formában őrződött meg.

Maguk a mezopotámiai matematikai szövegek két nagy csoportra oszthatóak: táblázatokra és föladatmegoldásokra. A táblázatok egy része a mi „egyszerű”-ünknek felel meg, azaz hatvanados szorzótáblák, melyek segítségével a szorzás műveletét – szemben az egyiptomi duplázásos-additív módszerrel – az ismert, illetve a táblákban lerögzített szorzatok segítségével végezték el. A szorzótáblák mellett igen jellegzetesek még a hatvanados reciproktáblák, melyek az osztásoknak az előbbi bekezdésben leírt szorzásokra történő visszavezetését szolgálták.

A reciproktáblák ugyanakkor fölvetnek egy igen jelentős s komoly problémát. A 7, a 11, a 13, a 14 stb. nem osztói hatvanak: pl. a 7 esetében reciprokként a $8/60 + 34/60^2 + 17/60^3 + 8/60^4 + 34/60^5 + 17/60^6 \dots$ végtelen hatvanados törtet kapjuk. A babilóniaiak ezeket a reciprokokat, illetve az ilyen reciprokokat adó számokat a 10-nél kisebb, és ezért kitüntetett 7 kivételével kihagyták mind a szabványos szorzó, mind pedig a szabványos reciproktáblákból, s azt a megjegyzést fűzték az ilyen reciprokokkal rendelkező számokhoz, hogy velük „nem lehet osztani”. Ezzel együtt azonban számos táblázatban jelen vannak az ilyen „szabálytalan” számok közelítő hatvanados reciprokjai is, mégpedig 3-4 hatvanados jegy pontossággal.

A mezopotámiaiak szerint „osztónak nem alkalmas” számok reciprokjainak közelítő értékei arról tanúskodnak, hogy a mezopotámiai matematika nemcsak jól használható számjelöléssel és számítási módszerrel rendelkezett, hanem adott volt számára a közelítés, az „approximáció” fogalma is. S valóban: konkrétan is előkerült egy olyan tábla, mely a „szabálytalan” reciprokok közelítésére szolgált. Ezen pl. a 7 reciprokával kapcsolatosan az szerepel, hogy ez nagyobb, mint a $0,8(34)(16)(59)$ -es hatvanados érték, ám kisebb, mint $0,8(34)(18)$, ami az $1/7$ érték $1/60^3$ pontosságú közelítése.

A ránk maradt táblázatok között található olyan, mely püthagoraszi számhármassokat tartalmaz. Arra, hogy az ókori Mezopotámiában ismerték a ma Pitagorasz-tétel névvel jelölt összefüggést, utal egy ábra is, ahol egy négyzet átlóján – a mai jelölésmódra való átírás után – az $1,414213...x$ a értéket találjuk, ahol „ a ” az oldalak hosszúságát jelöli. Nyilvánvaló, hogy itt az oldal szorzója a négyzetgyök 2 értéknek felel meg, mégpedig a helyes érték $1/106$ pontosságú approximációjával. Ptolemaiosz körülbelül kétezer évvel ezután szintén ezt az értéket használta.

A szöveges példák azt bizonyítják, hogy a mezopotámiai matematikusok képesek voltak általános másodfokú egyenletek megoldására, ismerték a kamatos kamat számításának módszerét, s bár nem rendelkeztek a mai értelemben vett egyenletekkel, algebrai szimbólumokkal és kifejezésekkel, tudták, hogy $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$. A másodfokú egyenletek természetesen vezettek irracionális gyökökhöz, melyeket az Arkhimédész és Hérón által később használt módszerhez hasonló approximatív módszerrel számoltak ki. Ennek nyomán említésre méltó, hogy az úgynevezett „szúzai táblák” egyikén, melyek a Babilon városától mintegy 320 kilométerre lévő Szúzából származnak, a szabályos 5, 6 és 7 szögek területére Hérón jóval későbbi számításainak megfelelő összefüggéseket találhatunk. Ugyanezen táblán a szabályos hatszög és a kör kerületének viszonyára egy olyan összefüggés szerepel, melyből a $\pi = 3 \frac{1}{8}$ érték következik. Ez az utóbbi azért is figyelemre méltó, mert a babilóniai területszámítások többségében a $\pi = 3$ értéket találjuk.

A ránk maradt példatárak arról tanúskodnak, hogy ezek készítőinek számára nem a konkrét feladat konkrét megoldása, hanem az általános eljárás volt a lényeg. Azaz az olyan számítási technikák, melyek ugyan a konkrét föladatokon sajátíthatóak el, ám ezek konkrét tartalmától elvonatkoztatva, általánosan érvényesek. Ennek során az általánosságot olyan jellegű fogalmakkal biztosították, mint „hosszúság”, „szélesség”, „emberek”, „napok”, „add össze”, „szorozd össze”. Ezek a fogalmak a mi algebrai betűszimbolikánkat helyettesítették, s így például az „emberek” és a „napok” egy-egy föladatban gyakran úgy keverednek egymással, amiként valóságos, „praktikus” szituációban ez nem volna lehetséges: azaz konkrét jelentésüktől elvonatkoztatva csak a kiszámítandó numerikus értékek szimbólumaiként használták őket. Ha helyükre a mi szimbolikánknak megfelelő „ x ”, „ y ”, „ v ”, „ z ” stb. jeleket helyettesítenénk, sok esetben a mai középiskolás algebrai példatáraknak megfelelő föladatokat, s föladatleírásokat kapnánk.

A prehellénisztikus mezopotámiai matematika tehát számos olyan fogalmat és eljárást alkotott meg, melyek ma tudományos kultúránk alapját képezik. A helyiértékes jelöléstechnika, s a törtszámok ezen alapuló helyiértékes kezelésmódja, vagy a konkrét numerikus problémákat tartalmazó konkrét feladatoktól elvonatkoztatott algebrai eljárások nélkül nemcsak a modern matematika, hanem általában, az egész újkori természettudomány kifejlődése elképzelhetetlen volna. Ez a babilóniai matematika ugyanakkor a görög matematika numerikus, illetve algebrai részének egyik forrása volt, melynek numerikus jelöléstechnikájára és eljárásaira Ptolemaiosz intenzíven támaszkodott rendszere fölépítésében. Így, figyelembe véve azt, hogy Ptolemaiosz nélkül Kopernikusz, Kopernikusz nélkül Kepler, Kepler nélkül pedig Newton elképzelhetetlen lett volna, minden összemérhetetlenség és paradigmaváltás, minden tudományos forradalom és jelentésváltozás ellenére tagadhatatlanul létezik történelmi kapcsolat, létezik egyfajta történelmi-kulturális folytonosság a mezopotámiai matematika és a modern tudomány között.

Ami pedig a mezopotámiai matematika elemi jellegét illeti: a természetes, archaikus számfogalomtól eljutni a helyiértékig, a hatvanados törtekig és az elvont eljárásokig: ez talán nagyobb vívmány, nagyobb teljesítmény, mint ezek birtokában továbblépni az absztrakt algebraig vagy a funkcionálanálízisig.

d) A babilóniai csillagászat

A csillagászat vonatkozásában igen fontos hangsúlyoznunk, hogy a prehellenisztikus, „ó-babilóniai” korszak csillagászatáról van szó. Ugyanis a fejlett babilóniai csillagászatra utalva azokra a matematikailag kidolgozott előrejelzésekre szoktak gondolni, melyek a Szeleukida korból maradtak ránk, ám a pontosabb meghatározás hiánya miatt gyakran általában a „babilóniai csillagászat”-nak tulajdonítják ezeket, azt a hamis látszatot keltve, mintha az itteni csillagászati előrejelzések megelőzték volna a görög előrejelzéseket. Valójában azonban az „ó-babilóniai” csillagászat még nem volt képes ilyen előrejelzésekre.

Ennek figyelembevételével is vannak olyan mozzanatok, amelyek a későbbi csillagászat szempontjából a babilóniai csillagászatot az egyiptomi csillagászattal szemben kitüntetik. Az egyik ilyen mozzanat, hogy amíg az egyiptomi csillagászatban – legalábbis a ránk maradt írásos emlékek szerint – elsősorban a csillagok kelte és nyugta, illetve a Nap és a Hold mozgása játszott a főszerepet, a babilóniaiakat a Nap és a Hold mellett elsősorban a Vénusz – azaz egy bolygó – érdekelte. A bolygók pozíciójának időbeli változása: ez az a középponti kérdés, mely a babilóniak nyomán az elméleti csillagászat meghatározó problémájává válik a következő évezredekre, hogy azután az újkori természettudomány meghatározó jelentőségű vívmányainak, a Kepler-féle törvényeknek és a newtoni gravitációelméletnek motivációjává váljon.

Szintén mezopotámiai konstrukció a nap egyenletes időközökre való felosztása, mely nélkül az égi mozgások szabályosságait kutató elméletek számára használható csillagászati megfigyelések elképzelhetetlenek. Mint láttuk, az egyiptomiak a csillagképek keléséhez kötött, s ezért egymástól eltérő hosszúságú dekánonban adták meg az éjszakai időpontokat. Ezzel szemben a babilóniaiak a napot 360 egyenlő egységre osztották, s ezeket 12 egyenként harminc egységet tartalmazó órába csoportosították. Mai beosztásunkat használva azt mondhatjuk, hogy egy akkori óra két mai órának felelt meg, míg az 1/30-nyi egység hossza négy mai perc volt. A 360-ra való fölosztás onnan származhatott, hogy az év hosszát kezdetben 360 napnak gondolták, s e feltételezett év/nap arányt vették mintául a nap beosztásához. Az időt éjszaka minden bizonnyal a csillagok szögelfordulásával mérték, s ez tükröződik abban is, hogy a kört szintén 360 egyenlő részre osztották föl: egy köregységet az égitestek éppen egy napegység alatt tesznek meg. Amikor a görög csillagászatban később bevezetik az egyenlő órákat, a beosztásnál az egyiptomi dekáonokból következő 12 órás éjszakából indulnak ki ugyan, ám ezeket az ó-babilóniai napegységek mintájára „temperálják” egyenlő órákra. Ennél is jelentősebb azonban, hogy az egyenlő időegységeket tartalmazó babilóniai nap-beosztás szerint lerögzített csillagászati megfigyeléseket tartalmazó táblázatokat fölhasználták a görög csillagászok. Így például maga Ptolemaiosz is a babilóniai táblákra gondol, amikor arra utal, hogy a holdfogyatkozásokról i. e. 747-től vannak rendszeres feljegyzések. Az egyiptomiaktól ehhez hasonló, jól használható megfigyelési adatok nem maradtak ránk, s úgy tűnik, a görögök sem tudtak ilyenekről.

Végül meg kell említenünk, hogy a babilóniai naptár Hold-naptár volt, melyben a mezopotámiai csillagászok – illetve a naptárért felelős egyházi méltóságok – a holdévek, valamint a Nap mozgásából származó periódusok közötti eltolódást azzal korrigálták, hogy a 12 holdéves ciklusokat időnként egy újabb holdév betoldásával 13-as ciklusokká egészítették ki. Ez kezdetben rapszodikusán történt, később azonban kialakult az a szabály, mely szerint 19 „napév”-énként 7-szer kell az évi ciklusba pótlólagos holdévet beiktatni.

e) *A babilóniai földrajz-, biológia- és orvostudomány*

Számos olyan ékírásos tábla maradt ránk, melynek tartalma „földrajzi” szöveggént jellemezhető. Így találkozhatunk az ismert országok és vidékek összehasonlító leírásával, a városok és a különböző földrajzi objektumok helyzetének katalógusával stb. Az ilyen listáknak nyilván nemcsak a kíváncsiság kielégítésében volt szerepe, hanem a kormányzás, a hatalom gyakorlása szempontjából fontos adminisztratív funkciókkal bírtak. Ám e praktikus célt is szolgáló táblák mellett találkozhatunk olyanokkal is, melyek a világ egészének fölépítését írják le, s Mezopotámia helyét ezen belül adják meg. E tábláknak bizonyosan nem gyakorlati, hanem vallási-mitologikus szerepük volt, mélyebb értelemben pedig a fizikailag véges ember kozmoszon belüli lokalizálásának idealisztikus motivációjú igénye fejeződik ki bennük. A kor földrajzi ismeretei legjellegzetesebben azonban nem annyira a kozmikus, mint inkább a lokális ábrákban jelennek meg: ezeken, mint a mai térképek ősein, megtalálhatjuk a Nílus és az Eufrátesz vidékének nagy vonalaiban helyes ábrázolását.

A növényekről és az állatfajokról ugyancsak igen gazdag mezopotámiai nyilvántartásokat találtak, melyek csírájukban magukban foglalják a fajok és a nemek szerinti rendszerezés elemeit is.

Ami az orvostudományt illeti: olyan összefüggő szövegeket, mint Egyiptom esetében, nem sikerült eddig föllelni. A megtalált szövegek viszont egyértelműen tanúsítják, hogy az orvosi és a sebészi mesterség egymástól különálló foglalkozás volt, melyek közül az előbbi kiemelt ranggal bírt, az utóbbi pedig rangjában a többi mesterségek közé sorolódott. Ezt mutatja az is, hogy Hammurapi törvénykönyve a sebészre ugyanúgy a jutalmazás és a büntetés szankcióit tartalmazza, mint más mesterségekre, ugyanakkor az orvosokra nincs benne utalás. Maga az orvoslás a ránk maradt szövegek szerint mindig a gyógyító varázslás mesterségével fonódott össze: a mai szemmel „racionálisnak” tűnő eljárások – így pl. a gyógyszerek alkalmazása, melyeket az orvos recepteken írt föl – a varázslás részét képezték. Az eddig megtalált emlékek alapján az a benyomás alakul ki, hogy a mezopotámiai orvosi és anatómiai ismeretek gyérebbek voltak, mint az egyiptomiak, ám újabb táblák vizsgálata bármikor módosíthat ezen.

4. *Tudomány és természetfilozófia az ókori Kínában*

P. Szabó Sándor

a) *Mitologikus-antropomorf világkép*

A kínai civilizáció letéteményese egy etnikailag meglehetősen heterogén összetételű populáció volt, mely egykoron a mai Kína térségében élt. A medrét gyakorta változtató Sárga-folyó völgyében i. e. 5000 körül mezőgazdasággal foglalkozó népesség kezdett koncentrálni. Főként kölest termesztettek, de ezidőtájt a délebbre eső vidékeken már foglalkoztak rizstermesztéssel is.⁸

Az ókori történetírás Kína első uralkodóházának a Hszia-dinasztiát tartja, s számos adattal szolgál róla, ám azok jórészen hitelességét s az uralkodóház történetiségét mindezidáig nem sikerült kielégítő módon igazolni. A Hszia-dinasztia örökébe lépőnek tartott Sang-Jin-dinasztiáról

⁸ Du Shiran: *Zhongguo kexue jishu shi gao*, I. köt. (Kexue chubanshe, 1984), 11. o. (A kínai nevek és szavak átírásakor a főszövegben magyar népszerű átírást alkalmaztam, a lábjegyzetekben azonban a nemzetközileg használt pinyin alakokat adtam meg.)

és koráról (i. e. XVI–XI. század) azonban már nemcsak jóval később keletkezett művekben található információk állnak rendelkezésünkre, hanem egykorú írásos források is, melyek megfelelően bizonyítják az uralkodóház létezését, s tájékoztatnak bennünket a korabeli viszonyokról. A Sang-Jin-dinasztia nagy területet uralt, birodalmának központja a Sárga-folyó völgyében volt. Jól szervezett társadalmat irányított, melynek gazdasági alapját a mezőgazdasági termelés jelentette. A Sang-Jin birodalomban öntözéses földművelést, letelepedett állattenyésztést folytattak, főleg kétfajta kölest, valamint búzát és rizst termeltek, használtak és készítettek bronzeszközöket. A társadalom élén a király (vang) állt. Feladatainak ellátásában különféle funkciókat betöltő hivatalnokok segítettek, akiknek a kínai tudomány fejlődésére gyakorolt fontos hatásáról a későbbiekben még szót ejtünk.

Milyenek képzelték a világot az ókori kínaiak? Domináns világgépük szerint a világ alapzata a négyzet alaprajzú föld, betetőzője pedig a föld fölé boruló kör alaprajzú égbolt, amely nem borítja be teljes egészében a földet, annak négy sarkát nem fedi be. Az archeológiai leletek tanúsága szerint ez a kozmológiai elképzelés nagyon korán kialakult, már i. e. 3000 előtt, a neolitikorban (i. e. V–III. évezred) is létezett. Az ókori kínaiak egy másik elgondolása az volt, hogy a kör alaprajzú eget nyolc pillér – nyolc hegy – tartja a magasban, melyek a négyszögletes föld „nyolc peremvidék”-ként emlegetett területein emelkednek: négy pillér az égtájakon, négy pedig az égtájak közé eső pontokon található. A nyolc peremvidék elképzelés kialakulásának koraiságát jelzi, hogy a kutatók már a neolitikori régészeti leletek egy részén látható nyolcágú csillag motívumot is azzal hozzák összefüggésbe.⁹ Az ókori kínaiak a négyszögletes föld középső területének saját territóriumukat tartották, a környező világot pedig négy égtáj szerint rendszerezték. Úgy gondolták, hogy az ég középpontja a Sarkcsillag, melyet örök mozdulatlanság jellemez, miközben a többi csillag körülötte kering. Elképzelésük szerint a Sarkcsillag azért nem pontosan a zeniten látható, mert az ég elmozdult eredeti helyéről. E kozmológiai koncepció mitológiai magyarázata – amelyet keletkezésénél jóval később jegyeztek le – az i. e. II. századi *Huajnan ce* című könyvben így maradt ránk:

„Valaha régen Kung-kung, amikor Csuan-hszüvel versengett az uralkodásért, haragjában odaverte fejét a Pu-csou hegyhez, minek következtében az ég oszlopa ott eltörött, s a föld egyik kötele is elszakadt.”¹⁰

Ezen mitológiai magyarázat szerint az emberfeletti erejű, kígyótestű, emberfejű szörnyeteg tettének következtében az ég északnyugaton rádőlt a földre, a föld pedig megbillent délkeleten, s ez okozta azt is, hogy a csillagok keletről nyugatra haladnak az égen, a folyamok pedig (elsősorban a Sárga-folyó és a Jangce) nyugatról keletre folynak a földön.

A Sang-Jin-kor uralkodó világgépe az antropomorf kozmosz eszméjén alapult. A korabeli kínaiak úgy gondolták, hogy a világot isteni lények, szellemek népesítik be, és az ő akaratuk szerint, tevékenységük folytán történik minden az univerzumban. Magukat a természeti jelenségeket, a természeti erőket, a természet részét képező dolgokat is gyakorta megszemélyesítették, s isteni lényként, szellemként tekintettek rájuk. A négy égtáj felől fújó szelet például négy szellemnek tartották. A napo(ka)t és a hold(ak)at (olyan elképzelés is létezett ugyanis, mely

⁹ Ge Zhaoguang: *Qi shiji qian zhongguode zhishi, sixiang yu xinyang shijie*, I. köt. (Fudan Daxue Chubanshe, Shanghai, 1998), 88. o.; He Jiejun: *Changjiang zhongyou shiqian wenhua*, in: *Kaogu*, 1996/2.

¹⁰ Tőkei Ferenc fordítása, in: Tőkei F.: *Kínai filozófia*, III. kötet (Akadémiai Kiadó, 1986), 84. o. (Azon idézetek, ahol a fordító nevét nem tüntettük fel, a szerző fordításai.)

szerint tíz nap és tizenkét hold mutatkozik felváltva az égen) csodás lényeknek hitték, akik az égen vándorolnak. Úgy képzelték, hogy ezen égi vándorokra útjuk során olykor szörnyek támadnak, melyek megpróbálják felfalni őket, s ilyenkor történik a nap- vagy a holdfogyatkozás. A Sang-Jin-kori kínaiak domináns világképe szerint az isteni lények, a szellemek legfőbb ura, s így az egész mindenség, a természet irányítója, rendjének forrása *Sang-ti* (a Magasságos Úr vagy a Legfelsőbb Ős), aki a Középső Palotában – a Sarkcsillagban – székel, onnan vezérli az univerzumot, adja utasításait a világot benépesítő isteni lényeknek, szellemeknek. A Sang-Jin-kori feliratos jóslócsontokon például ilyen és ehhez hasonló szövegeket olvashatunk:

„A mai keng-ce nap, és csia-csen napja között (Sang)-ti rendel-e számunkra esőt?”¹¹

„... (Sang)-ti rendel-e számunkra szelet?”¹²

Mint az a korabeli írásos forrásokból kiviláglik, az ókori kínaiak már a Sang-Jin-korban megfigyelték: a Sarkcsillagot körbejáró Göncölszekér rúdja közvetlenül az est leszálltát követően tavasszal kelet felé mutat, nyáron dél felé, ősszel nyugat felé, télen pedig észak felé.¹³ Ez a megfigyelés azzal az elképzeléssel párosult, hogy a négy évszak kialakításában a négy égtáj (illetve az őket uraló szellemi lények tevékenysége) játszik szerepet. Egy lényeges elmélet szerint az évszakok, a hideg és a meleg váltakozását a különböző irányból fújó szelek eredményezik, a szelek pedig a föld nyolc peremvidékén található nyolc kapun – nyolc völgyön – keresztül szállnak le az égből. Délen van a meleg kapuja, amerre a Göncölszekér rúdja nyáron mutat, s amerre haladva melegebb az éghajlat; és északon található a hideg kapuja, amerre a Göncöl rúdja télen fordul, s amerre haladva hidegebb az éghajlat.

A Sang-Jin-birodalom központjától nyugatra fekvő területen egyre növekvő befolyással bíró Csou nemzetség az i. e. XI. században megdöntötte a Sang-Jin-dinasztia uralmát, s helyét átvéve, létrehozta a Csou-uralkodóházat (i. e. XI–III. század). Az új dinasztia hatalomra kerülése után pár száz évvel, hosszantartó, jóval a Csou-kor előtt kezdődött folyamat eredményeképpen Sang-ti kultuszához képest előtérbe került az *Ég* (Tien) kultusza.¹⁴

Az *Ég* – Sang-ti székhelye – maga is istenséggé absztrahálódott, s előlépett a mindenség rendjének forrásává, az univerzum vezérlőjévé. A *Dalok Könyve* verseiben (i. e. I. évezred első fele) így fohászkodnak hozzá:

„Kék *Ég*, kék *Ég*! Tekints le azokra a gőgös emberekre, s szánj meg minket, meggyötörteket.”¹⁵

„Fényességes, magasságos *Ég*, tekints le az alant való földre!”¹⁶

¹¹ In: *Qi de sixiang* (Shanghai, 1990), 17. o.

¹² Uo. 19. o.

¹³ Ge Zhaoguang: *Qi shiji qian ...*, I. köt, 93. o.; Chen Mengjia: *Yinxu buci zongshu* (Kexue chubanshe, 1956), 585. o.

¹⁴ Joseph Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. II. (Cambridge University Press, Cambridge, 1956), 581. o.

¹⁵ *Shi jing*, Xiangbo, in: *Shisan jing* (Zhongzhou Guji Chubanshe, 1992), 89. o.

¹⁶ *Shi jing*, Xiaoming, in: *Shisan jing*, 92. o.

Sang-tihoz hasonlóan az Ég is antropomorf istenség volt,¹⁷ melyről azt gondolták, ember módjára cselekszik, például lát és hall, képes haragra gerjedni, szeretni, szánalmat érezni.¹⁸

A kínaiak úgy tartották, hogy a földnek saját főistene van (Sö vagy Hou-tu), akinek alárendeltjei a kisebb-nagyobb területek helyi földistenei.

Kultikus tisztelet járt ki a halott ősöknek is, akikről hitték, hogy védelmezői, segítői lehetnek élő utódaiknak, de ártalmassá is válhatnak, ha a leszármazottak elveszítik azok jóindulatát.

Az itt vázolt mitologikus-antropomorf világkép nagymértékben meghatározta a kínai gondolkodás további fejlődésének irányát.

b) Az emberi világ és a mindenség viszonyának hatása a korabeli tudomány fejlődésére

Már a neolitikori (i. e. V–III. évezred) régészeti leletek – pl. a kör alaprajzú eget és a négyzet alaprajzú földet szimbolizáló cung nevű szertartási eszköz – is arról tanúskodnak, hogy a kínaiak vallásos tiszteletének két alapvető tárgya az ég és a föld volt. Az ókori kínaiak világképe szerint az univerzum *három fő szférára* különül, az egyik az ég, a másik a föld, a harmadik pedig a közöttük elhelyezkedő emberi világ.

Úgy hitték, hogy az uralkodó, vagy ahogy a Csou-korban (i. e. XI–III. század) nevezték, az Ég Fia hasonlóan irányítja az emberi világot, mint Sang-ti vagy az Ég a mindenséget. Az uralkodó nem egyszerűen a hatalom birtokosa volt, hanem szakrális hivatalt töltött be. Ő volt az egész társadalom vallási életének legfőbb résztvevője, a vallási aktusok során az egész társadalom megszemélyesítője. Az uralkodó feladatának tartották, hogy az emberi világot összehangolja Sang-ti vagy az Ég szándékával, a későbbi elképzelések szerint pedig a mindenség rendjével. A Csou-kor egyik fontos elképzelése szerint az uralkodó az Ég akaratából uralkodik, ún. *égi megbízatást* (tien-ming), legitimációt kap az Égtől hivatalának betöltésére, ám ez a megbízatás nem örökre szól. Ha az uralkodó nem jól látja el feladatát, nem az Ég akaratának megfelelően kormányoz, akkor az visszavonja tőle és másra ruházza át a megbízatást: letaszítja őt trónjáról, és mást ültet helyére.

A Sang-Jin-kori (i. e. XVI–XI. század) kínaiak úgy gondolták, hogy a társadalmat irányító és megszemélyesítő uralkodónak kötelessége az egész társadalom érdekében Sang-tival „párbeszédet” folytatni, hogy megteremtse az emberi világ és a mindenség isteni lényei, szellemei közötti harmóniát. Ennek egyik módját a jóslásban látták, melyet a Sang-Jin-kori uralkodók udvari jósaikkal végeztek. A jóslat szövegét állati csontra, legtöbbször teknőspáncélra vésték, majd a csont hevítésekor keletkezett repedésekből jósltak.

A neolitikori és az ókori Kínában a mindenség, *a természet megfigyelését* is gyakorta az isteni lényekkel, szellemekkel való *kapcsolattartás* egyik eszközének tekintették. A korabeli kínaiak ugyanis úgy vélték, hogy a természet figyelemmel kísérése által nyomon követhetik az isteni lények, szellemek tevékenységét, észlelhetik az emberi világ szempontjából fontos jelzéseiket. Ez a momentum a kínai természetismeret fejlődésének, a korai természetfilozófia létrejöttének egyik rendkívül fontos *transzcendens-idealiztikus motivációja* volt. Egy i. e. XIII. századi napfogyatkozásakor például az alábbi szöveget vésték egy szarvasmarha-lapockára:

¹⁷ Fung Yu-lan: *History of Chinese philosophy*, Vol. I. (Princeton University Press, Princeton, 1952), 31. o.

¹⁸ Alfred Forke: *The World-Conception of the Chinese* (Arno Press, New York, 1975), 151. o.

„Kui-ju napon jósolunk. Szürkületkor napfogyatkozás történt. Szerencsés jel?
Kui-ju napon jósolunk. Szürkületkor napfogyatkozás történt. Baljós jel?”¹⁹

Ebből az idézetből világosan láthatjuk, hogy a napfogyatkozást például az emberi világnak szóló *jelzésnek* tekintették.

Ugyanakkor számos *praktikus-materialisztikus motiváció* ösztönözte az ókori és az ókor előtti kínaiakat a mindenség, a természet megfigyelésére. A mindennapi élet gyakorlata – melynek egyik legfőbb részét a földművelés képezte – egyfelől elősegítette, másfelől igényelte a természetismeret fejlődését. A társadalomnak, amelynek gazdasági alapját a földművelés jelentette, természet-szerűleg megbízható ismeretekre volt szüksége például ahhoz, hogy a mezőgazdasági munkák megkezdését megfelelően tudja ütemezni. Az ókori Kuan-cenek tulajdonított szavakkal élve:

„Ha a birodalomban nem ismerik kellően a négy évszakot, a birodalom alapja roskad össze.”²⁰

Mindezen okok folytán az uralkodó köré számos olyan hivatal csoportosult, amelynek betöltői a mindenség, a természet vizsgálatával foglalkoztak, azt a célt tartva szem előtt, hogy segítsék urukat feladatainak ellátásában. A természet tanulmányozásának tehát *szervezett, intézményes formái* alakultak ki. Ez tükröződik az *Írások könyve* azon – feltehetően i. e. VII–VIII. századi²¹ – részletében is, amely annak legendáját örökíti meg, hogy Jao császár, akinek uralkodását az i. e. 3. évezred második felére teszi az ókori kínai történetírás, miként nevezte ki udvari csillagászeit:

„Ekkor (Jao) megparancsolta a Hszi és a Ho (testvéreknek), hogy tiszteletteljes odaadással viszonyulván a hatalmas ég iránt, számítsák ki, illetve írják le a nap, a hold, a csillagok járását, valamint a konstellációk helyzetét, és alázatosan adják tudtára az embereknek az időt.”²²

A mindenség, a természet tanulmányozásának feladatával járó hivatalok betöltői rendkívül jelentős szerepet játszottak a kínai gondolkodás formálódásában, a tudomány fejlődésében.

c) A dezantropomorf kozmosz eszméjének kialakulása

A Keleti Csou-korban (i. e. VIII–III. század) fokozatosan tért hódított az a felfogás, mely szerint a mindenség olyan autonóm létező, melynek rendje és léte önmagából fakad, nem pedig étellel, értelemmel, lélekkel rendelkező létező vagy létezők műve, ugyanakkor valamennyi létező alá van rendelve az univerzum rendjének, s a mindenség szerves részét képezi. Tekintsünk át néhány olyan elképzelést, természetfilozófiai koncepciót, amely lényeges szerepet játszott ezen elgondolás, a dezantropomorf kozmosz eszméjének létrejöttében, formálásában, s intenzív kölcsönhatásban volt az ókori kínai tudománnyal.

¹⁹ Liu Zhaomin: *Zhonghuatianwenxue fazhanshi* (Taiwan Shangwu Yinshuguan, Taipei, 1985), 246. o.

²⁰ Guanzi, Sishi, in: *Zhuzi jicheng* (ZhonghuaShuju, Peking, 1986), V. köt., 238. o.

²¹ Joseph Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. III. (Cambridge University Press, Cambridge, 1959), 188. o.

²² *Shang shu*, Yao dian, in: *Shisan jing*, 1. o.

(1) Az öt elemről (vu hszing) alkotott elképzelések

Az ókori kínaiak egyik fontos elképzelése volt, hogy a mindenség létezőit öt elem, öt *alapvető anyagi minőség* alkotja: a víz, a tűz, a fa, a fém és a föld. Az *Írások könyve A Nagy Szabály* című fejezete (i. e. IV. század) felsorolja az elemeket, és röviden jellemzi azok természetét:

„Először, az öt elem. Az első a víz, a második a tűz, a harmadik a fa, a negyedik a fém, az ötödik a föld. A víz nedvesít és lefelé törekszik, a tűz éget és felfelé törekszik, a fa meghajlik és kiegyenesedik, a fém engedelmeskedik és átalakul, a föld befogadja a magot és aratást nyújt.”²³

Az öt elemet nem pusztán öt alapvető anyagi minőségnek tartották, hanem öt olyan állandó változásban lévő *erőnek* is, amely a mindenség rendjének kialakítását végzi. A korabeli nézet szerint az elemek azáltal látják el ezt a funkciót, hogy az általuk felépített univerzumra kiterjesztik a közöttük fennálló rendet, melynek két fő jellemzője van:

1. Minden elemet egy meghatározott másik elem hoz létre. A fa hozza létre a tüzet, a tűz a földet, a föld a fémet, a fém a vizet, a víz pedig a fát.
2. Minden elemet egy meghatározott másik elem pusztít el. A víz pusztítja el a tüzet, a tűz a fémet, a fém a fát, a fa a földet, a föld pedig a vizet.

Tradicionalis elnevezéssel élve, az elemek között fennálló rendről alkotott előbbi elképzelés az elemek *„egymást létrehozásának”*, az utóbbi pedig az elemek *„egymáson győzedelmeskedésének”* teóriája.

A korabeli kínaiak a mindenségben uralkodó rend egyik legalapvetőbb kifejeződésének a négy évszak szakadatlan és szabályos váltakozását tekintették. Egyik fontos elméletük szerint a négy évszak váltakozása annak következménye, hogy az elemek meghatározott időközönként és sorrendben egymáshoz képest túlsúlyra jutnak a természetben. A tavaszt a fa elem túlsúlya eredményezi, a nyarat a tűzé, az őszt a fémé és a telet a vízé. Az ötödik elem, a föld, egy a nyár és az őszt közötti különálló időszak alatt van túlsúlyban.²⁴ Ezen elképzelés szerint tehát az elemek abban a sorrendben jutnak dominanciára az évszakok során, amelyben egymást létrehozzák. A *Lü mester Tavasz és Ősze* című könyv (i. e. III. század) leírja, mely évszakban, mely elem jut túlsúlyra, továbbá megtudhatjuk belőle, hogy az udvari asztrológusnak feladata volt minden évszak kezdete előtt tudatni az uralkodóval az adott évszak eljövételének, valamint az adott elem túlsúlyra jutásának közeledtét. Részlet a műből:

„A tavasz kezdete előtt három nappal az udvari asztrológus felkeresi az Ég Fiát, és azt mondja:

– Ezen és ezen a napon beköszönt a tavasz, s a fa elem jut uralomra.”²⁵

(2) A páráról (csi) alkotott elképzelések

A Keleti Csou-kori (i. e. VIII–III. század) kínai gondolkodás egyik alapvető elmélete volt, hogy van egy anyagi szubsztancia, a *pára* (csi), amely *a mindenség összes létezőjének általános felépítője*. A pára az univerzum őszanyaga, az anyag változásainak kiinduló- és végpontja, amiből minden

²³ Tókei Ferenc fordítása, in: Tókei F.: *Kínai filozófia*, I. köt. (Akadémiai Kiadó, 1986), 36. o.

²⁴ J. Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. II., 250. o.

²⁵ *Lü shi chunqiu* (Shanghai Guji Chubanshe, 1995), Mengchun ji, 10. o.

keletkezik, és amivé pusztulása folytán minden visszaalakul. Egy fontos korabeli elképzelés szerint valamennyi létező létrejövetele a pára *összesűrűsödésének* eredménye, megsemmisülése pedig a pára *szétoszlásának* következménye. E nézetek az i. e. IV. században élt Csuang-ce nevéhez fűződő, és róla elnevezett könyv alábbi részletében is tükröződnek:

„Az élet a halál ösvénye, és a halál az élet kezdete. ... Az ember azáltal jön létre, hogy párája összegyülemlik. A pára összegyülemlése folytán kel életre, s a pára szétoszlása miatt hal meg. ... Az egész mindenség csupán egyazon pára.”²⁶

A könyv egy másik fejezetében ezt olvashatjuk:

„Csuang-ce felesége meghalt. ... Csuang-ce azt mondta:
– ... A születésén elmélkedem. Azon, hogy eredetileg nem élt. S nem csak, hogy nem élt, de eredetileg nem volt még teste sem. S nem csak teste nem volt, de nem volt még párája sem. El volt vegyülve a ködös derengésben. Majd változás történt, és lett párája. A párája változott, és lett teste. Teste változott, és életre kelt. Most ismét változáson ment keresztül, és meghalt. Olyan ez, mint ahogyan a négy évszak, a tavasz, a nyár, az ősz és a tél váltakozik.”²⁷

Mindezzel összefüggésben a korabeli kínaiak egyik alapvető elgondolása volt, hogy az öt elem is a párából épül fel, éppúgy, mint minden egyéb. Egy i. e. 400 körülről származó jáde kardmarkolatba vésett szöveg például ezzel a mondattal kezdődik:

„Az elemek párája megállapodik és összegyülemlik.”²⁸

A páráról alkotott elképzeléseken nyugvó kozmogóniai koncepció szerint maga az univerzum is – tehát az ég, a föld és a kettő által határolt világ – a pára különböző megtestesülésekké történő összesűrűsödése folytán jön létre. A *Lie-ce* című könyv egyik, feltehetőleg i. e. IV. századi, részlete így hangzik:

„A tisztább és könnyebb (pára) felemelkedett, és létrejött belőle az ég. A zavarosabb és nehezebb (pára) leülepedett, és létrejött belőle a föld. Közöttük, az összekeveredett párából jött létre az ember.”²⁹

A Keleti Csou-kori kínaiak úgy gondolták, hogy a mindenséget felépítő pára két nagy részre oszlik: az ég és a föld párájára. A *Co csuan* című könyv i. e. 541-ről szóló feljegyzésében az az elképzelés fogalmazódik meg, mely szerint az ég párájának hat alapvető módosulata van. Ez a hat pára: a jinné és janggá absztrahálódott *hideg* és *meleg*, továbbá a *szél* és az *eső*, valamint a *sötétség* és a *világosság*. A szövegben körvonalazódik egy olyan teória is, melynek tárgya, hogy *miként alakul ki a mindenségben uralkodó rend*. Az alábbiakat egy Ji Ho nevű orvos mondja Cin fejedelmének, miután megállapítja, a fejedelem betegségét az okozta, hogy túl sokat időzött háremében:

²⁶ Zhuangzi, Zhi bei you, in: Zhuzijicheng, III. köt., 138. o.

²⁷ Zhuangzi, Zhile, in: Zhuzi jicheng, III. köt., 110. o.

²⁸ In: Li Cunshan: Zhongguo qiluntanyuan yu fawei (Zhongguo Shehui Kexue Chubanshe, 1990), 47. o.; vö.: J. Needham: Science and civilisation in China, Vol. II., 242. o.

²⁹ Liezi, Tianrui, in: Zhuzi jicheng, III. köt., 2. o.

„Az égnek hat párája van. Ezek alászállván az öt ízben kelnek életre, az öt színben válnak láthatóvá és az öt hangban zendülnek fel. Túltengésük folytán üti fel fejét a hat betegség. A hat pára nem más, mint a jin, a jang, a szél, az eső, a sötétség és a világosság. Ezek hozzák létre a négy évszakot és az öt időszakot. Ha a hat pára bármelyike túlteng, az bajt idéz elő. A jin túltengése okozza a lehűléses betegségeket, a jangé a lázzal járókat, a szélé a végtagok bajait, az esőé a hasi betegségeket, a sötétségé a szellem zavarát, a fényé pedig a lélek bajait. Asszonnal háltni jang dolog, és a sötétség idején történik. Ha mértéktelenségbe csap át, lázas betegséghez és a szellem zavarához vezet.”³⁰

Figyelemre méltó, hogy a fejedelem betegsége nem Sang-ti vagy az Ég szándéka folytán alakul ki, hanem azért, mert a fejedelem cselekedetei révén előidézte, hogy felboruljon szervezetében a hat pára által kialakított harmónia. A szövegből az is kitűnik, hogy a hat párát – ahogy ezt az öt elem esetében is láttuk – nemcsak *hat anyagi minőségnek* tekintették, hanem a mindenség rendezettségének kialakítását végző *hat erőnek* is.

A korabeli kínaiak fontos nézete volt ugyanakkor, hogy a föld párájának – szemben az ég párájával – öt alapvető módosulata van, s ez az öt elem: a víz, a tűz, a fa, a fém és a föld. A *Kuo jü* című könyvben (i. e. IV. század) ez áll:

„Az égé a hat, a földé az öt.”³¹

A pára két legalapvetőbb módosulatának azonban a jint és a jangot tartották.

(3) A jinről és a jangról alkotott elképzelések

A Keleti Csou-kori (i. e. VIII–III. század) elképzelések szerint a jin és a jang egyrészt a pára – az anyagi szubsztancia – két ellentétes természetű *alaplómódosulata*, másrészt a mindenség rendezettségét, harmóniáját kialakító két alapvető *erő*. A jin és a jang építi fel az univerzum valamennyi létezőjét, és okozza azok létrejövetelét, különféle változásait, pusztulását, a természet minden jelenségét.

A kor alapvető kozmológiai koncepciója volt, hogy az ég és a föld – az univerzum két fő része – nem más, mint a mindenség két pólusa, amelyben ellentétes természetű pára akkumulálódik. Az eget felépítő pára főként jang pára, amely „tisztább és könnyebb”, a földet felépítő pára pedig főként jin pára, amely „zavarosabb és nehezebb”.³² A *Változások könyve Csatolt magyarázatok* című kommentárja (i. e. V. század) így fogalmaz:

„Az ég jang létező, a föld jin létező.”³³

A *Lü mester Tavasz és Ősze* ezt írja a jinnek és a jangnak a létezők *felépítésében* játszott szerepéről:

„Az ember és a többi létező mind-mind a jin és a jang módosulata.”³⁴

³⁰ *Zuo zhuan*, Zhao Gong 1., in: *Shisanjing*, 315. o.

³¹ *Guo yu* (Shanghai Guji Chubanshe, 1978), Zhou yu xia, 98. o.

³² A. Forke: *The World-Conception of the Chinese*, 55. o.

³³ *Yi jing*, Xi ci, in: *Shisanjing*, 48. o.

³⁴ *Lü shi chunqiu*, Zhifen, 180. o.

A Lao-cének tulajdonított *Az Út és az Erény könyve* című mű (i. e. IV. század) egyik részletében az alábbi módon jelenik meg az a gondolat, hogy a jin és a jang a mindenségben uralkodó *rend kialakítója*:

„Az összes létező háta a jinhez, kebele a janghoz simul, s az egymással keveredő párák alakítják ki bennük a harmóniát.”³⁵

A korszak nagy jelentőségű, a tudománnyal rendkívül intenzív kölcsönhatásban lévő természetfilozófiai teóriája volt, hogy *a természeti jelenségeket* a jin és a jang változása és egymásra gyakorolt hatása *okozza*. A jin és a jang a róluk alkotott elképzelések szerint állandó változásban van. Mindkettő alapvető jellemzője, hogy egy bizonyos végső állapot irányába fejlődik, majd miután eléri, az ellentétes végállapot irányába kezd változni, s ezáltal saját ellentétévé válik: a jimből jang lesz, a jangból pedig jin. A *Kuo jü* alábbi részletében például az a nézet tükröződik, mely szerint a nap a jang módosulata, a hold pedig a jiné, s a nap felkelését és lenyugvását, valamint a hold fázisait egyaránt a jin és a jang *változása* eredményezi:

„Ha a jang kiteljesedik, jinné lesz, ha a jin kiteljesedik, janggá lesz. A nap elfárad és megpihen, a hold kikerekedik és fogyni kezd.”³⁶

A *Kuo jü* című könyv egy i. e. VIII. században történt földrengéssel kapcsolatos részletében példát láthatunk arra, hogy miként képzelték el a természeti jelenségeknek a jin és a jang *kölcsönhatása* következtében való kialakulását:

„... a három folyó vidékén földrengés történt. ... Po-jang Fu azt mondta: Amikor a jang alul reked és nem képes előjönni, mert a jin maga alá gyűri, és nem engedi felemelkedni, olyankor reng a föld. Most a három folyó vidékét földrengés rázta meg. Ennek oka, hogy a jang nem a kellő helyen van, a jin ránehezedeése folytán.”³⁷

A korabeli kínaiak egyik jellemző elgondolása volt, hogy az öt elem felépítője is a jin és a jang pára. Álláspontjuk szerint a tűz elemében a jang nagy-, a fa elemében pedig kismértékben haladja meg a jint; a víz elemében a jin nagy-, a fém elemében pedig kismértékű túlsúlyban van a janghoz képest. A föld elemében a jin és a jang azonos mértékben van jelen.

Fontos teóriájuk volt, hogy a négy évszak körforgása, az öt elem egymáshoz képest való túlsúlyának váltakozása is a jin és a jang kölcsönhatásának és változásainak eredménye. Az i. e. V–IV. században élt Mo-ce így fogalmazott:

„A négy évszak nem más, mint a jin és a jang.”³⁸

Úgy gondolták, hogy a jang tavasszal kerül túlsúlyra a jinhez képest, és túlsúlya nyáron éri el legnagyobb mértékét, míg a jin ősszel jut túlsúlyra a janghoz képest, és túlsúlya télen éri el a tetőfokát. A jang szó írásjegye eredetileg a hegyek napfényesebb és melegebb déli oldalát jelképezte, a jin szóé a hegyek sötétebb, hűvösebb északi oldalát szimbolizálta. A korabeli kínaiak számára a

³⁵ *Dao de jing*, 42. fej., in: *Zhuzijicheng*, III. köt., 26–27. o.

³⁶ *Guo yu*, Yue yu xia, 653. o.

³⁷ *Guo yu*, Zhou yu shang, 26–27. o.

³⁸ *Mozi*, Ciguo, in: *Zhuzi jicheng*, IV. köt., 22. o.

világosság, a nappal, a meleg és a szárazság mind a jang túlsúllyal együtt járó jelenség volt, míg a sötétség, az éjjel, a hideg és a nedvesség egyaránt a jin túlsúly velejárója. A *Huajnan ce* ezt írja:

„A nappal a jang időszaka, az éjjel pedig a jiné. Így aztán amikor a jang pára van túlsúlyban, a nappalok hosszabbak, s az éjjelek rövidebbek, amikor pedig a jin pára van túlsúlyban, a nappalok rövidebbek, s az éjjelek hosszabbak.”³⁹

Figyeljük meg, hogy az ókori kínaiak elképzelése szerint miként változik a jin és a jang aránya az év során, és ez a természetfilozófiai koncepció hogyan épült a korabeli természetismeretre!

A jin túlsúlya az év során akkor éri el legnagyobb mértékét, amikor *leghosszabb* az adott magasságú tárgy délben mért *árnyéka* és az *éjszaka* időtartama, tehát a téli napforduló idején. Ezt követően a jin túlsúlya csökkenni kezd, és a jang gyarapodásnak indul (a nappalok hosszabbodnak, a déli árnyék rövidül). Ezt a *Huajnan ce* is megfogalmazza:

„A téli napforduló idején ... a jin pára túlsúlya eléri legnagyobb mértékét, s a jang pára indul gyarapodásnak.”⁴⁰

A gyarapodó jang a tavaszi napéjegyenlőség idején kerül egyensúlyba a jinnel. A *Huajnan ce*ben ezt olvashatjuk:

„... a jin és a jang pára egyensúlyba kerül, s ekkor a nappalok és az éjjelek hossza egyenlő.”⁴¹

A *Dalok Könyve* egyik versrészlete (i. e. I. évezred első fele) is a jang gyarapodásával és a nappalok hosszabbodásával kapcsolja össze a tavasz időszakát:

„A tavaszi nap jangot hoz. ... Tavasszal a nappalok egyre hosszabbodnak.”⁴²

A jinnek és a jangnak a tavaszi napéjegyenlőség idején történő kiegyenlítődését követően a jang a jinhez képest túlsúlyra jut, és túlsúlya egyre fokozódik. A jang túlsúlya akkor éri el tetőfokát, amikor *leghosszabb a nappal* időtartama és *legrövidebb* az adott magasságú tárgy délben mért árnyéka, vagyis a nyári napforduló idején. Ezt követően a jang túlsúlya csökkenni kezd, és a jin gyarapodásnak indul (a déli árnyék és az éjszakák hossza nő). A *Huajnan ce*ben ez áll:

„A nyári napforduló idején ... a jang pára túlsúlya eléri legnagyobb mértékét, s a jin pára indul gyarapodásnak.”⁴³

Az egyre gyarapodó jin az őszi napéjegyenlőség idején egyensúlyba kerül a janggal, majd ezt követően ismét túlsúlyra jut hozzá képest. Túlsúlya egyre fokozódik, mígnem a téli napforduló idején eléri tetőfokát, s a fent leírt folyamat kezdődik újra.

Mindebből láthatjuk, hogy ez az elmélet a csillagászat bizonyos eredményeire épült.

³⁹ *Huainan zi*, Tianwen, in: *Zhuzi jicheng*, VII. köt., 45. o.

⁴⁰ *Huainan zi*, Tianwen, in: *Zhuzi jicheng*, VII. köt., 40. o.

⁴¹ *Huainan zi*, Tianwen, in: *Zhuzi jicheng*, VII. köt., 40. o.

⁴² *Shi jing*, Qiyue, in: *Shisan jing*, 62. o.

⁴³ *Huainan zi*, Tianwen, in: *Zhuzi jicheng*, VII. köt., 40. o.

(4) Az organikus univerzum eszméje és a Mindenség Rendezőelvéről (Tao) alkotott elképzelések

A Keleti Csou-kori (i. e. VIII–III. század) kínaiak fontos – és a korszak során fokozatosan uralkodóvá váló – elképzelése volt, hogy a mindenség egy saját rendezőelvei szerint felépülő és működő autonóm egység vagy rendszer, melynek egymással szoros kapcsolatban és állandó kölcsönhatásban lévő elemei a különféle létezők. E felfogás szerint az univerzum egy kozmikus organizmus, amelyben egyetlen elem változása is kihat az összes többi elemre.

Ezen az elgondoláson, az *organikus univerzum eszméjén* alapul például az a nézet, hogy a szokatlan természeti jelenségek, a természeti csapások nem isteni jelek vagy büntetések, hanem a mindenség kölcsönhatások sorozatának eredményeként fellépő válaszreakciói az emberi világ vele diszharmonikus hatásaira. Az ekképp gondolkodók rendszerint az uralkodó feladatának tartották elérni, hogy az emberi világ tökéletes összhangba kerüljön a mindenséggel. A *Lü mester Tavasz és Ősze* például kifejti, mit nem szabad tenni az év első hónapjában, amikor a fa elem jut túlsúlyra:

„Ebben a hónapban ... tilos fát kivágni, fészket leverni, fiatal állatot ölni ..., nem szabad nagy embertömeget együvé gyűjteni, városfalat építtetni Ebben a hónapban nem szabad katonai támadást indítani. Ha katonai támadást indítunk, az bizonyos, hogy természeti csapást vált ki.”⁴⁴

A *Kuo jü* (i. e. IV. század) pedig ezt írja:

„Az ég és a föld páráinak rendje magától nem borul fel. Ha rendjük felborul, az azért van, mert az emberek megzavarták őket.”⁴⁵

Egy másik, ugyancsak az organikus univerzum eszméjén alapuló felfogásmód szerint szokatlan természeti jelenségek, természeti csapások akkor is előfordulhatnak, ha az emberi világ tökéletes összhangban van az univerzummal, mert okozójuk a mindenség bármely részéből kiinduló hatás vagy folyamat lehet. Hszün-ce például az i. e. III. században így gondolkodott:

„Amikor csillag hullik alá, vagy megszólal a fa (a föld oltárán), az ország minden lakója megretten. Azt kérdezzétek: »Miért van ez?« Én azt felelem: ennek nincs (különösebb) oka. Ez az ég és föld változásával (kapcsolatos), a jin és a jang arányának eltolódása, és a természetben nagyon ritkán fordul elő. Csodálkozni még csak lehet rajta, de félni nem kell tőle. Nincs olyan kor, amelyben ne fordulna elő gyakran, hogy a nap és a hold megfogyatkozik, szél és eső nem igazodik az évszakhoz, vagy különös csillagok csoportja jelenik meg. Ha az uralkodó világosfejű (értsd: bölcs), és a kormányzás nyugodt, akkor előfordulhatnak ezek mind akár egyetlen korban is, semmi kárt nem tehetnek.”⁴⁶

A Keleti Csou-kor egyik alapvető elképzelése volt, hogy létezik egy, az univerzum egészében általánosan érvényesülő rendezőelv, a *Tao*, vagyis a *Mindenség Rendezőelve*, melynek alapján a mindenség létezői felépülnek, folyamatai zajlanak, s amely az univerzum rendjének, a természet

⁴⁴ *Lü shi chunqiu*, Mengchun ji, 11. o.

⁴⁵ *Guo yu*, Zhou yu shang, 26. o.

⁴⁶ Tókei Ferenc fordítása, in: Tókei F.: *Kínai filozófia*, II. köt. (Akadémiai Kiadó, 1986), 218. o.

harmóniájának forrása. A tao szó eredetileg „ut”-at, „ösvény”-t jelentett. A korabeli elméletek szerint az univerzum bonyolult, szerteágazó, ám egységes és összefüggő rendszerében számtalan rendezőelv érvényesül, ugyanakkor valamennyi a Mindenség Rendezőelvéből fakad. Han Fej-ce az i. e. III. században így fogalmaz:

„A Mindenség Rendezőelve az, ami miatt a létezők olyanok, amilyenek, s amivel az összes rendezőelv összhangban van. ... a Mindenség Rendezőelve a rendezőelvek forrása.”⁴⁷

A világgép fontos elemét képezte az a nézet, hogy az univerzumban érvényesülő valamennyi rendezőelv a Mindenség Rendezőelvének kifejeződése. Úgy tartották ugyanis, hogy a Mindenség Rendezőelve a jin és a jang különféle manifesztációin keresztül jut érvényre az univerzumban, ezért a különböző létezőkben és relációkban különféleképpen is fejeződik ki: eltérő rendezőelvekként. Ez tükröződik például a *Változások könyve* alábbi részleteiben:

„Egy jin és egy jang: ezt nevezzük Taonak.”⁴⁸

„Az Ég Rendezőelvének érvényre juttatója a jin és a jang. A Föld Rendezőelvének érvényre juttatója a légység és a keménység. Az Emberek (a társadalom) Rendezőelvének érvényre juttatója az emberségesség és az igazságosság.”⁴⁹

A Mindenség Rendezőelvét az ókori kínaiak nem valamely felsőbb hatalomtól származtatták, hanem öröktől valónak és örökké változatlanul fogták fel. Elképzeléseik szerint az Ég és a Föld, valamint a közöttük lévő világ alkotta univerzum kialakulása is a Mindenség Rendezőelvéből fakad. A Keleti Csou-kor meghatározó kozmogóniai koncepcióját így vázolja fel *Az Út és az Erény könyve*:

„A Tao szülte az Egyet, az Egy szülte a Kettőt, a Kettő szülte a Hármat, s a Három szülte az összes létezőket.”⁵⁰

Ezen elgondolás szerint a Mindenség Rendezőelve először kialakította a teljes differenciálatlanság és homogenitás állapotában lévő párat, mely ekkor még semmilyen létezőben nem öltött testet. Ez volt: az Egy. Ezt követően az ősalapotban lévő pára differenciálódása folytán létrejött a jin és a jang pára: a Kettő. Ezután kialakult az ég, a föld és a közöttük lévő világ: a Három. Az ég, a föld és a közöttük lévő világ létezői pedig az összes létező létének forrásává lettek.

d) Az ókori kínai csillagászat

Eleinte az égbolt megfigyelésére is egyebek mellett két fontos tényező késztette a kínaiakat. Az egyik, az isteni és szellemi lényekkel való kommunikáció igénye, a másik, a gyakorlati élet – azon belül is főként a földművelés – támasztotta szükségletek kielégítésére való törekvés. Később, a gondolkodás változásával a csillagászat egyik legfőbb céljává az égben – az univerzum egyik részében – érvényesülő rend megismerése és megértése vált.

⁴⁷ Han Feizi, Jie Lao, in: *Zhuzi jicheng*, V. köt., 107. o.

⁴⁸ Tókei Ferenc fordítása nyomán, in: Tókei F.: *Kínai filozófia*, I. köt., 33. o.

⁴⁹ *Yi jing*, Shuo gua, in: *Shisan jing*, 50. o.

⁵⁰ Tókei Ferenc fordítása nyomán, in: Tókei F.: *Kínai filozófia*, II. köt., 32. o.

A régészeti leletekből és egyéb forrásokból egyaránt kitűnik, hogy a kínaiak már a neolitikumban (i. e. V–III. évezred) rendelkeztek bizonyos csillagászati ismeretekkel. Tájékoztató építményeiket, sírjaikat, képesek voltak az égbolt megfigyelésével meghatározni az év egyes időszakait. Csillagképek megkülönböztetéséről árulkodik például az a közelmúltban felfedezett, a Jangszao kultúrához (i. e. V–III. évezred) tartozó, kagylóhéjból kirakott ábra, amelyen a tavaszi égbolt egyes csillagai alkotta Azúr Sárkány csillagkép és az őszi égbolt egyes csillagai alkotta Fehér Tigris csillagkép szimbolikus ábrázolása látható.⁵¹ A korai csillagászat fontos része volt a *Nagy Tűzcsillag*, vagyis az Antares (α Scorpii) megfigyelése, melynek felbukkanása és eltűnése segítette meghatározni az év bizonyos fontos időpontjait, például a mezőgazdasági munkák kezdetének megfelelő idejét. Sze-ma Csien ókori történetíró szerint Csuan-hszü uralkodása alatt (i. e. XXV. század körül) a Nagy Tűzcsillag megfigyelésére külön hivatalnoki poszt létezett.⁵² Az Antarest minden bizonnyal azért illette meg kitüntetett figyelem, mert i. e. 2400 körül, a keleti horizonton való alkonyati feltűnése hozzávetőlegesen a tavaszi napéjegyenlőség idejére esett, amikor is a tavaszi vetést meg kellett kezdeni.⁵³

A kínaiak már a Sang-Jin-dinasztia (i. e. XVI–XI. század) hatalomra lépését megelőző időkben tíznapos egységekbe, *dekádokba* (hszün) sorolták a napokat. Egy dekádon belül a napokat a „tíz égi törzs”-nek nevezett tízes jelsorozat elemeivel jelölték.

A Sang-Jin-korból számos olyan feliratos jóslócsont maradt fenn, amely segítséget nyújt a korabeli csillagászat és naptárkészítés megismeréséhez. A Sang-Jin-dinasztia uralkodása idején a napokat hatvanas naptári ciklusba rendezték, és egy hatvan napos cikluson belül minden egyes nap külön jelöléssel bírt. A napok jelölése úgy történt, hogy a ciklus folyamán a dekád napjait jelölő „tíz égi törzs”-et sorrendjük szerint haladva naponként párosították a „tizenkét földi ág”-nak nevezett másik, tizenkét jelből álló jelsorozat soron következő tagjával. A ciklus első napját az „első égi törzs” és az „első földi ág” jelölte, második napját a „második égi törzs” és a „második földi ág”, és így tovább, egészen a második dekád kezdetéig, amikor is az „első égi törzs”-zel már a „tizenegyedik földi ág” került párba. A két jelsorozat elemeit ezen az elven párosítva jutottak a kínaiak a jelölőelem-párok és a hozzájuk rendelt napok hatvanas ciklusához. Van olyan jóslócsont, amelyen a teljes hatvanas naptári ciklus megtalálható.

A Sang-Jin-kori jóslócsontok felirataiból kiderül, hogy a korabeli naptár luniszoláris naptár volt, melynek egy éve tizenkét, a hold fázisaihoz igazodó hónapból állt, s a holdév és a tropikus év közötti eltérést korrigálандó, bizonyos időközönként egy szökőhónappal, egy „tizenharmadik hónappal” hosszabbították meg a naptári évet. A hónapok harminc és huszonkilenc naposak voltak.

Az ókori kínaiak már a Sang-Jin-korban alkalmazták a gnómónt. A jóslócsontokon használt írásjegyek egyike napkorongot és alatta egy gnómónt tartó kezecskét ábrázol.⁵⁴ A gnómón eredetileg egy a földfelszínre merőlegesen felállított egyenes bot volt, amely arra szolgált, hogy árnyékának hosszát mérjék használni. Később az eszköz (amelynek felső részén egy, a napfény átérésztésére szolgáló kis lyuk is lehetett) kiegészült egy vele derékszöveget bezáró vízszintes mércével, amelyről leolvasható volt az árnyék hossza (vagy a lyukon keresztül a mércére vetülő fénypontnak a „nulla ponttól” való távolsága). A jóslócsontok szövegeinek tanúsága szerint a Sang-Jin-kori kínaiak az i. e. XIV–XIII. században már képesek voltak az árnyék hosszának mérésével meghatározni a téli

⁵¹ Ge Zhaoguang: *Qi shijiqian...*, I. köt., 86–87. o.

⁵² *Shi ji* (Zhonghua Shuju, 1989), Lishu, 1255–1287. o.

⁵³ Du Shiran: *Zhongguo kexue jishushi gao*, I. köt., 25. o.

⁵⁴ Liu Zhaomin: *Zhonghuatianwenxue fazhanshi*, 52. o.

napforduló napját,⁵⁵ amikor is az év során a leghosszabb a délben mért árnyék, valamint a nyári napforduló napját, amikor pedig a legrövidebb. Tudták, hogy tizenkilenc tropikus évvel megközelítőleg egyenlő 235 lunáció, minek folytán tizenkilenc évenként hét szökőhónapot kell beiktatni. (Ez a ciklus, melyet a korabeli kínaiak „csang”-nak hívtak, megfelel a görög Mentonról elnevezettnek.) Továbbá úgy gondolták, hogy négy ilyen tizenkilenc éves periódus egyenlő 27759 nappal.⁵⁶ (Ez az általuk „pu”-nak nevezett ciklus megegyezik a görög Kalüpposz nevéhez fűződővel.)

A szinodikus hónap hosszát 29,53 napnak tartották, a sziderikus év hosszát pedig 365,25 napnak.⁵⁷ A sziderikus év időtartamából következően az égbört – s ennek mintájára általában a kört – az ókorban 365,25 fokra osztották.

A jóslócsontokon számos, csillagászati jelenséget megörökítő feljegyzés maradt fenn. Ezek között vannak nap- és holdfogyatkozásról szóló szövegek, de vannak olyanok is, amelyek nóvák megjelenéséről vagy eltűnéséről számolnak be. Az egyik szöveg például egy i.e. 1217-ben történt napfogyatkozást örökít meg, egy másik egy i. e. 1361-ben bekövetkezett holdfogyatkozást.⁵⁸ Van olyan i. e. 1300 körül keletkezett felirat is, amely egy, az Antares közelében feltűnt nóváról tesz említést:

„A hónap hetedik napján, csi-sze napon, egy nagy új csillag jelent meg a Tűzcsillag társaságában.”⁵⁹

Egy másik feliraton pedig ezt olvashatjuk:

„Hszin-vej napon az új csillag kihúnyt.”⁶⁰

A Sang-Jin-kori jóslócsontok bolygók megfigyeléséről is tanúskodnak. Van köztük olyan, amely a Jupiterrel kapcsolatos feljegyzést tartalmaz.⁶¹

⁵⁵ J. Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. III., 293. o.; Zheng Wenguang: *Zhongguo tianwenxue yuanliu* (Kexue Chubanshe, 1979), 156. o.

⁵⁶ J. Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. III., 406–407. o.

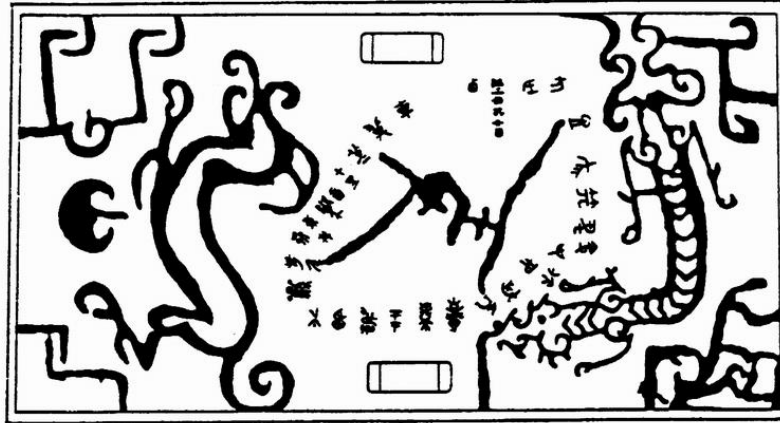
⁵⁷ Uo. 392., 293–294. o.

⁵⁸ Uo. 410. o.

⁵⁹ In: J. Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. III., 424. o.

⁶⁰ Uo.

⁶¹ Du Shiran: *Zhongguo kexue jishushi gao*, I. köt., 70. o.



A „Huszonnyolc szálláshely” vázlatos térképe egy i. e. V. század végi sírban talált ruhásláda tetején

A Keleti Csou-kori kínaiak az ekliptika és az égi egyenlítő közelében huszonnyolc csillagképet különböztettek meg, amely huszonnyolc szakaszra osztotta az ekliptikát és az égi egyenlítőt. Ezeket a csillagképeket együttesen úgy hívták: a Huszonnyolc Szálláshely. Az elnevezés onnan ered, hogy e csillagképekre eredetileg úgy tekintettek, mint a nap, a hold és a bolygók égi vándorútvonalát szegélyező ideiglenes szálláshelyekre. A huszonnyolc csillagkép alkotta rendszer a Tavasz és Ősz korszakban (i. e. 722–481) alakult ki teljes egészében. Létrejövétele hosszú, már a Sang-Jin-kori jóslócsontokon is nyomom követhető folyamat eredménye volt. A jóslócsontok feliratait például már említenek olyan csillagképeket, amelyek részeivé váltak a későbbi huszonnyolcas csillagképrendszernek, és a *Dalok Könyve* verseiben is (i. e. I. évezred első fele) számos ilyen csillagkép neve megtalálható.

A Keleti Csou-korban a fejedelemségeknek önálló obszervatóriumaik voltak.⁶² A *Co csuan* i. e. 654-ről szóló feljegyzései között ezt olvashatjuk:

„... a téli napforduló idején a fejedelem az ősök templomában tartott szertartás végeztével maga is felment az égvizsgáló toronyba, s szemügyre vette a jelenségeket, melyeket ezt követően feljegyeztek. Mindez a szertartások rendjének megfelelően történt.”⁶³

E korszak több csillagász-asztrológusát már név szerint is ismerjük. Például a Cin fejedelemségbeli Pu Jent, aki az i. e. VII. század első felében tevékenykedett, vagy a lubeli Ce Sent, aki hozzávetőleg i. e. 570 és 540 között munkálkodott. A kor csillagász-asztrológusai között feltétlenül meg kell említenünk a csibeli Kan Töt és a véjbeli Si Sent, akik az i. e. IV. században végezték csillagászati megfigyeléseiket. Si Sen nevéhez fűződik a *Tien-ven* című könyv megírása, Kan Tö nevéhez pedig a *Tien-ven hszing-csan* című munka megalkotása. A két mű az idők során elveszett, ám a *Történeti feljegyzések*, a *Han su* és a *Kaj-jüan csan-csing* szövegeiből, átvételeiből bizonyos mértékig rekonstruálni tudjuk tartalmukat. Kan Tö és Si Sen leírták a bolygók látszó mozgása során bekövetkező retrográd mozgás jelenségét. A Mars sziderikus keringési idejét 1,9 évnak tartották (a pontos adat: 1,881 év), a Jupiter sziderikus keringési idejét 12 évnak (a pontos adat: 11,862 év).

⁶² A. Forke: *The World-Conception of the Chinese*, 8. o.

⁶³ *Zuo zhuan*, Xi Gong 5., in: *Sisanjing*, 59. o.

A Keleti-Csou-korban a Jupitert, a Marsot, a Szaturnuszt, a Vénuszt és a Merkúrt megfeleltették az öt elemnek. A Jupiter volt a Fa Bolygó, a Mars a Tűz Bolygó, a Szaturnusz a Föld Bolygó, a Vénusz a Fém Bolygó és a Merkúr a Víz Bolygó.

A Keleti-Csou-korból számos napfogyatkozásról szóló feljegyzés maradt fenn. Csak a *Tavaszi és Ősz krónikában* és kommentárjában, a *Co csuanban* harminchét napfogyatkozást említenek, ebből harminckettő hitelességét igazolják a mai számítások.⁶⁴ A korabeli kínaiak egyik fontos, a gondolkodásmódot rendkívül jól tükröző napfogyatkozás-elmélete a jinről és a jangról alkotott elképzeléseken alapult. Az elmélet lényege az volt, hogy a Nap a jang megjelenési formája, a Hold pedig a jin megjelenési formája, és a jinnek a janggal szemben kifejtett, kelleténél nagyobb mértékű hatása okozza a napfogyatkozást.⁶⁵ Ez tükröződik a *Co csuan* i. e. 518-ról szóló szövegének alábbi részletében is:

„Nyáron, az ötödik hónap első napján, jimo napon napfogyatkozás történt. ... Csao-ce ezt mondotta: 'Szárazság lesz. Már túl vagyunk a tavaszi napéjegyenlőségen, ám a jang még nem győzedelmeskedett a jin felett. Midőn győzedelmeskedik, rettentő erővel gyűri majd le, s akkor bizony szárazság lesz. Hisz miközben a jang nem tud a jinnek fölébe kerekedni, egyre csak gyülemlik ereje.’”⁶⁶

Si Sen az i. e. IV. században már tudta, hogy napfogyatkozás csakis újhold idején következhet be, a Nap és a Hold konjunkciójakor.⁶⁷ Ugyanakkor azt tartotta, hogy a jelenség bármely újholdkor megtörténhet.

A kor írásos dokumentumai számos csillagászati eseményt megörökítettek. A *Tavaszi és Ősz krónikában* a kínaiak feljegyezték például a Lyridák meteorraj i. e. 687-es átvonulását.⁶⁸ A lubeli Csuang fejedelem uralkodásának hetedik évében lezajlott jelenség leírása így hangzik:

„Nyáron, a negyedik hónapban, hszin-mao nap éjjelén nem látszottak a csillagképek. Az éj közepén úgy hullottak a meteorok, akár az eső.”⁶⁹

A krónikában a Halley-üstökös i. e. 613-ban való feltűnését is említik a lubeli Ven fejedelem uralkodásának tizennegyedik évében történt fontos események között:

„Ősszel, a hetedik hónapban egy üstökös hatolt be a Göncölszekér területére.”⁷⁰

A Keleti Csou-kor második felében a kínaiak meglehetősen sok ismerettel rendelkeztek az üstökösökről. Ezt támasztják alá az egyik, Mavangtuban feltárt, Han-kor (i. e. 206–i. sz. 220) eleji sírból nemrégiben előkerült ábrák is, melyeken különböző struktúrájú üstökösök rajzai láthatóak. Az ábrákon hosszú időn át tartó tüzetes vizsgálódás eredményei összegződnek. A rajzokból kitűnik, hogy készítőik nagy gondot fordítottak az üstökösök magjának és csóvájának tanulmányozására és tipizálására.

⁶⁴ J. Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. III., 418. o.

⁶⁵ Vö. uo. 411. o.

⁶⁶ *Zuo zhuan*, Zhao Gong 24., in: *Shisanjing*, 399. o.

⁶⁷ Liu Zhaomin: *Zhonghuatianwenxue fazhanshi*, 342. o.

⁶⁸ Du Shiran: *Zhongguo kexue jishushi gao*, I. köt., 128. o.

⁶⁹ *Zuo zhuan*, Zhuang Gong 7., in: *Shisanjing*, 37. o.

⁷⁰ *Zuo zhuan*, Wen Gong 14., in: *Shisanjing*, 123. o.

A Mavangtuban előkerült leletek között van egy selyemre írott csillagászati tárgyú munka, amely leírja a Vénusz, a Jupiter és a Szaturnusz i. e. 246 és i. e. 177 közötti látszó mozgását, ezenkívül közli, hogy a Vénusz szinodikus keringésideje 584,4 nap (a pontos adat: 583,92 nap), a Szaturnusz szinodikus keringésideje 377 nap (a pontos adat: 378,09 nap), sziderikus keringésideje pedig 30 év (a pontos adat: 29,458 év).

A *Csou-pi szuan-csing* című könyv egy feltehetően i. e. IV. századi részletében tűnik fel először az az állítás, hogy a Hold fénye a Naptól származik.

A kínaiak legkésőbb az i. e. I. század végén felismerték, hogy valójában mi idézi elő a napfogyatkozás jelenségét. A Han-kori Liu Hsziang i. e. 20 körül ezt írja:

„Akkor következik be napfogyatkozás, amikor a Hold útja során eltakarja a Napot.”⁷¹

Ez az elmélet azonban lejegyzésének időpontjában csak egyike volt az írástudók körében elfogadott nézeteknek. Vang Csung – az egyébként figyelemre méltó teljesítményű filozófus – például még i. sz. 80 körül is vitába száll vele, miközben ismerteti és megkísérli bizonyítani az általa vallott nézetet, miszerint a nap- és a holdfogyatkozást egyaránt a napot és a holdat felépítő pára (csi) változása okozza.

Nem sokkal később Csang Heng (i. sz. 78–139), a Keleti Han-kor nagy csillagásza kimutatja, hogy holdfogyatkozás akkor alakul ki, amikor a Föld a Holdra vetülő napfénynek útját állja.

Az ókori kínai csillagászat eredményei nemcsak a mindennapi élet gyakorlatára voltak jelentős hatással, hanem intenzíven alakították a kor világképét, gondolkodását is.

e) Az ókori kínai matematika

Már a neolitikori (i. e. V–III. évezred) régészeti leleteken is nagy mennyiségben fordulnak elő különféle síkidomrajzok, valamint belőlük konstruálódó ábrák. Ezek gyakorta egyes létezők (vagy létezőnek tartott dolgok) *absztrakciói* voltak. A tárgyi emlékek jól mutatják például, hogy a korabeli kínaiak a körre mint az eget mintázó, a négyzetre pedig mint a földet mintázó alakzatra tekintettek. Számos ókori szövegből és régészeti leletből az is kitűnik, hogy a körző és a derékszög nem egyszerűen ezen szabályos alakzatok megszerkesztésére szolgáló eszköz volt, hanem a mindenségben tapasztalható rend szimbóluma is.

A számok – hasonlóan a síkidomokhoz – szintén gyakorta funkcionáltak létezők vagy létezőnek tartott dolgok absztrakcióiként, már a Sang-Jin-korban (i. e. XVI–XI. század) is.⁷² A kínaiak antropomorf világképében a számok a mindenség rendjét kialakító hierarchikus isten- és szellemvilág tagjaival kapcsolódtak össze: istenek, szellemek, valamint a velük kapcsolatos dolgok (pl. az általuk uralt szférák) szimbólumainak tekintették őket. Az egyes szám például az ég közepének tartott Sarkcsillagban székelő Sang-ti és az egész általa uralt mindenség absztrakciója volt, az ötös az öt világtájé (észak, dél, kelet, nyugat, közép) és az azokat uraló szellemeké. Az ókori kínaiak a számokban előbb az istenek és szellemek által vezérelt mindenség, később pedig a saját rendezőelvi szerint felépülő és működő *univerzum rendjének kifejeződését* látták.

A legkorábbi fennmaradt kínai számjegyek a Sang-Jin-kori jóslócsontokon találhatóak. A jóslócsontok véseteiből kitűnik, hogy a korabeli kínaiak egy akkorigiban már nyilvánvalóan hosszú

⁷¹ In: Liu Zhaomin: *Zhonghuanwenxue fazhanshi*, 342. o.

⁷² Ge Zhaoguang: *Qi shijiqian...*, I. köt., 139. o.

múltra visszatekintő, fejlett, tízes alapú számrendszert használtak. Számjelölésük – néhány speciális, önálló számjeggyel leírt számértéktől eltekintve – kilenc számjegyen és a hozzájuk csatolható helyiérték-komponenseken alapult. A kilenc számjegy a következő volt:

Sang-Jin-kori alak:	一	二	三	四	五	六	七	八	九
Modern alak:	一	二	三	四	五	六	七	八	九
Indiai-arab számmal:	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nullát ekkor még nem használtak, az először egy i. sz. VIII. század eleji szövegben tűnik fel. A tízes, a húszas, a harmincas és a negyvenes számot önálló számjegyek jelölték, az alábbi formában:

Sang-Jin-kori alak:	丨	凵	凵	凵
Modern alak:	十	二十	三十	四十
Indiai-arab számmal:	10	20	30	40

A kilenc számjegy helyiértékét helyiérték-jelölő komponens hozzáadásával vagy elhagyásával fejezték ki. A tízes helyiérték jelölőjének kivételével a kilenc számjeggyel csatolható helyiérték-jelölő komponensek *önmagukban nem voltak számok*.⁷³ Például a százasként jelölője a „fenyőtoboz” (㊦) piktoqramja volt, az ezres helyiértéké pedig az „ember” (亼) piktoqramja. Az alábbi példákon megfigyelhetjük, miként használták a Sang-Jin-kori kínaiak a helyiérték-jelölő komponenseket:

文	千	𠄎	𠄎	𠄎	𠄎	𠄎	𠄎	𠄎	𠄎	𠄎
五十	七十	八十	一百	二百	五百	六百	八百	九百	千	二千
50	70	80	100	200	500	600	800	900	1000	2000

A többjegyű számokban – az általunk ma használatos helyiértékes jelölésmóddhoz hasonlóan – a kisebb helyiértékű számjegy mindig a nagyobb helyiértékű után állt. A számjegyek közé ugyanakkor beilleszthették az „és”, „plusz” jelentésű (𠄎) írásjegyet is.

Például a 2656-os számot kétféleképpen írhatták le:

1. 𠄎𠄎𠄎𠄎
2. 𠄎𠄎𠄎𠄎𠄎

A számolás fontos, a matematikai gondolkodást is befolyásoló segédeszközei voltak a „számolópálcák” (szuancsou). Számos tény utal arra, hogy a korabeli kínaiak már a Sang-Jin-korban is alkalmazták a számolópálcákat, s matematikai műveleteket végeztek segítségükkel, ám használatuk legkorábbi bizonyítékai a Keleti Csou-kor első feléből származnak. A számolópálcák bambuszból vagy más anyagból készült rövid pálcák voltak, melyek különféle elrendezései számokat reprezentáltak. A Keleti Csou-korból sok olyan bronz- és agyagtárgy maradt fenn, amelyen számolópálca-elrendezések rajzai láthatóak. A Lao-ce nevéhez fűződő *Az Út és az Erény könyve* is említi ezeket az eszközöket:

„Aki jól tud számolni, az nem szorul számolópálcákra.”⁷⁴

⁷³ J. Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. III., 15. o.

⁷⁴ *Dao de jing*, 27. feje., in: *Zhuzijicheng*, III. köt., 15. o.

A számolópálcákkal való kalkuláció során *tíz-es helyiértékes jelölésmódot* alkalmaztak. A pálcák megfelelő elrendezései összesen kilenc számjegyet reprezentáltak, a nullát pedig üresen hagyott hely helyettesítette. Minden számjegyet kétféle elrendezési mód, kétféle forma jelölhetett, egy függőleges és egy vízszintes:

Indiai-arab számmal:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Függőleges forma:						┌	┌┌	┌┌┌	┌┌┌┌
Vízszintes forma:	—	==	≡≡	≡≡≡	≡≡≡≡	└	└└	└└└	└└└└

Függőleges elrendezésű számjegy jelölte az egyeseket, a százásokat, a tízezreseket stb., és vízszintes elrendezésű számjegy jelölte a tízeseket, az ezreseket, a százezreseket stb. Így a többjegyű számokban a számjegyek függőleges és vízszintes formái váltották egymást. A régi Kínában mind az írásjegyeket, mind a számjegyeket rendszerint fentről lefelé haladva, oszlopokba írták (melyek jobbról balra követték egymást), azonban a számolópálca-számjegyeket balról jobbra, vízszintesen rendezték sorba, ugyanúgy, ahogy mi írjuk a számokat napjainkban. Nézzük például, miként jelölték a 378-as és a 6708-as számot:

378: ||| └ ┌┌┌ 6708: └ ┌┌ ┌┌┌

Hogyan végezték el a korabeli kínaiak a számolópálcák segítségével az összeadás, a kivonás, a szorzás és az osztás műveletét? A négy művelet mindegyikét a legnagyobb helyiértékű számjegytől kezdték, ezért balról jobbra haladva számoltak. Lássuk például, miként adtak össze 456-ot 789-cel. Legelőször is pálcákból kirakták a két számot, majd a százások helyén álló 4-hez hozzáadták az ugyancsak a százások helyén álló 7-et. Ezt követően összeadták a tízesek helyén álló számokat, legvégül pedig az egyesek helyén állókat. A művelet tehát a következőképpen zajlott le:

$$\begin{array}{r}
 \boxed{\pi \cong \text{m}} \\
 + \left\{ \begin{array}{ccc} 7 & 8 & 9 \\ 4 & 5 & 6 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{ccc} 7 & & \\ 4 & 5 & 6 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{ccc} 8 & & \\ 1 & 1 & 5 & 6 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{ccc} 9 & & \\ 1 & 2 & 3 & 6 \end{array} \right\} \\
 \boxed{\text{m} \cong \tau} \quad \boxed{- \text{I} \cong \tau} \quad \boxed{- \text{II} \cong \tau} \quad \boxed{- \text{II} \cong \text{m}} \\
 \quad \quad \quad 1 \ 1 \ 5 \ 6 \quad \quad 1 \ 2 \ 3 \ 6 \quad \quad \underline{\underline{1 \ 2 \ 4 \ 5}}
 \end{array}$$

A kivonás hasonlóan történt. Vegyük például azt az esetet, hogy 1245-ből kell kivonni 789-et. A számok pálcikából való kirakása után a kivonandó számban a százások helyén álló 7-et kivonták a csökkentendő szám százasaiból, majd a tízesek és az egyesek helyén álló számokkal folytatták a műveletet. Nézzük hogyan folyt le mindez:

$$\begin{array}{r}
 - \left\{ \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 4 & 5 \\ 7 & 8 & 9 & \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 4 & 5 \\ 7 & & & \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{ccc} 5 & 4 & 5 \\ 8 & & \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{ccc} 4 & 6 & 5 \\ & & 9 \end{array} \right\} \\
 \boxed{- \text{II} \cong \text{m}} \quad \boxed{\text{m} \cong \text{m}} \quad \boxed{\text{m} \perp \text{m}} \quad \boxed{\text{m} \cong \tau} \\
 \quad \quad \quad 5 \ 4 \ 5 \quad \quad 4 \ 6 \ 5 \quad \quad \underline{\underline{4 \ 5 \ 6}} \\
 \boxed{\pi \cong \text{m}}
 \end{array}$$

Két szám összeszorzásakor a számolópálcákból kirakott két számot egy felső és egy alsó sorba rendezték, úgy, hogy a felső sorban lévő szám legnagyobb helyiértékű számjegye az alsó sorban

lévő szám legkisebb helyiértékű számjegye fölé kerüljön, és a két sor között egy sor üresen maradjon a részeredmények, majd a végeredmény számára. Ezt követően a felső sor legnagyobb helyiértékű számjegyével végigszorozták az alsó sor minden egyes számjegyét balról jobbra haladva, és az egyes szorzatok megegyező helyiértékű számjegyeinek összeadásával kapott részeredményt beírták az üresen hagyott középső sorba. Miután ez megtörtént, eltávolították a felső sor legnagyobb helyiértékű számjegyét, mivel a beszorzást már elvégezték; az alsó sorban lévő számot pedig eggyel jobbra csúsztatták, hogy annak legkisebb helyiértékű számjegye ismét a felső sor legnagyobb helyiértékű számjegye alá kerüljön. Ezután a művelet ugyanígy folytatták mindaddig, míg az alsó sor számjegyeit a felső sor utolsó számjegyével végigszorozva és a legutolsó részeredményt átalakítva meg nem kapták a végeredményt. Kövessük nyomon például, milyen módon szorozták össze 234-et 456-tal a számológépek segítségével:

(1) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">2 3 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td></tr></table>	2 3 4	4 5 6	(2) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">2 3 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">9 1 2</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td></tr></table>	2 3 4	9 1 2	4 5 6	(3) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">9 1 2</td><td style="padding: 2px 5px;">3 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td><td></td></tr></table>	9 1 2	3 4	4 5 6		(4) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">1 0 4 8 8</td><td style="padding: 2px 5px;">4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td><td></td></tr></table>	1 0 4 8 8	4	4 5 6		(5) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">1 0 6 7 0 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td></tr></table>	1 0 6 7 0 4	4 5 6
2 3 4																			
4 5 6																			
2 3 4																			
9 1 2																			
4 5 6																			
9 1 2	3 4																		
4 5 6																			
1 0 4 8 8	4																		
4 5 6																			
1 0 6 7 0 4																			
4 5 6																			
	$\begin{array}{r} (2 \times 4 =) 8 \\ (2 \times 5 =) 10 \quad (+) \\ \quad 90 \\ (2 \times 6 =) 12 \quad (+) \\ \quad \quad 912 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 912 \\ (3 \times 4 =) 12 \quad (+) \\ \quad 1032 \\ (3 \times 5 =) 15 \quad (+) \\ \quad \quad 1047 \\ (3 \times 6 =) 18 \quad (+) \\ \quad \quad \quad 10488 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 104884 \\ (4 \times 4 =) 16 \quad (+) \\ \quad 10648 \\ (4 \times 5 =) 20 \quad (+) \\ \quad \quad 10668 \\ (4 \times 6 =) 24 \quad (+) \\ \quad \quad \quad 106704 \\ \hline \end{array}$																

A Keleti Csou-kor első felében már a műveltség részét képezte az egyes szorzásokat és eredményeit szöveges formában tartalmazó ún. „kilencszer kilences mondóka” (Csiu-csiu-ko), melynek szövege a „kilencszer kilenc egyenlő nyolcvaneggyel” kezdődött, és az „egyszer egy egyenlő egyel” végződött.

A számológépek segítségével történő osztás művelete a velük való szorzás műveletének fordítottja volt. Nézzük például, hogyan osztottak 106704-et 456-tal a számológépek alkalmazásával. A korabeli kínaiak az osztandót „si”-nek nevezték, az osztót „fa”-nak, a hányadost pedig „sang”-nak. Az osztandót a felső, az osztót pedig az alsó sorba rendezték. A művelet első lépéseként az osztandó első négy számjegyéből álló számot (1067) osztották el 456-tal, mivel így 1 és 10 közé eső hányadost kaptak. Ezért az osztás megkezdésekor a 456-ot jelölő számológépeket az 1067-ként felfogott első négy számjegy megfelelő helyiértékű számjegyei alá rendezték. Miután az 1067-et elosztották 456-tal, a kapott hányadost, jelen esetben a kettőt, az osztandó szám fölé írták. Ezt követően a hányadossal egyenként végigszorozták az osztó valamennyi számjegyét, és az egyes szorzatok számjegyeivel csökkentve az osztandó megfelelő helyiértékű számjegyeit azt találták, hogy a maradék 15504. Majd a művelet hasonlóképpen folytatva megkapták, hogy a végeredmény 234. Az alábbi diagram lépésről lépésre mutatja be a folyamatot:

(a) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">1 0 6 7 0 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td></tr></table>	1 0 6 7 0 4	4 5 6	(b) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">2</td><td style="padding: 2px 5px;">2 3 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">1 0 6 7 0 4</td><td style="padding: 2px 5px;">1 8 2 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td></tr></table>	2	2 3 4	1 0 6 7 0 4	1 8 2 4	4 5 6	4 5 6	(c) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">1 5 5 0 4</td><td style="padding: 2px 5px;">2 3</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td><td style="padding: 2px 5px;">1 8 2 4</td></tr></table>	1 5 5 0 4	2 3	4 5 6	1 8 2 4	(d) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">1 8 2 4</td><td style="padding: 2px 5px;">2 3 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td><td style="padding: 2px 5px;">1 8 2 4</td></tr></table>	1 8 2 4	2 3 4	4 5 6	1 8 2 4	(e) <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 2px 5px;">2 3 4</td></tr><tr><td style="padding: 2px 5px;">4 5 6</td></tr></table>	2 3 4	4 5 6
1 0 6 7 0 4																						
4 5 6																						
2	2 3 4																					
1 0 6 7 0 4	1 8 2 4																					
4 5 6	4 5 6																					
1 5 5 0 4	2 3																					
4 5 6	1 8 2 4																					
1 8 2 4	2 3 4																					
4 5 6	1 8 2 4																					
2 3 4																						
4 5 6																						
	$\begin{array}{r} 1067 \\ (2 \times 4 =) 8 \quad (-) \\ \quad 267 \\ (2 \times 5 =) 10 \quad (-) \\ \quad \quad 167 \\ (2 \times 6 =) 12 \quad (-) \\ \quad \quad \quad 155 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 1550 \\ (3 \times 4 =) 12 \quad (-) \\ \quad 350 \\ (3 \times 5 =) 15 \quad (-) \\ \quad \quad 200 \\ (3 \times 6 =) 18 \quad (-) \\ \quad \quad \quad 182 \\ \hline \end{array}$	$\begin{array}{r} 1824 \\ (4 \times 4 =) 16 \quad (-) \\ \quad 224 \\ (4 \times 5 =) 20 \quad (-) \\ \quad \quad 24 \\ (4 \times 6 =) 24 \quad (-) \\ \quad \quad \quad 0 \\ \hline \end{array}$																			

Maradékos osztás esetén az eredmény egy egész szám és egy valódi tört formájában állt elő. A legfelső sorban a hányados egész része maradt, a középső sorban a tört számlálója, a legalsó

sorban pedig a nevezője. A tört számokat széles körben alkalmazták. Írásban számok és szöveg együttes használatával fejezték ki azokat, „ n -ed résznek az m -szerese”-ként.

A Keleti Csou-kori matematikai gondolkodás és a világnép viszonyát tükrözi, hogy a korabeli gondolkodók a számokat gyakorta az anyagi szubsztancia, a pára különféle megtestesüléseinek absztrakcióiként fogták fel. Ahogy ez *Az Út és az Erény könyve* egy fentebb idézett részletében is tükröződik, az egyes szám rendszerint az egész mindenséget felépítő párát jelképezte; a kettes szám a pára két alapvető módosulatát, a jint és a jangot, valamint a mindenség két pólusát, az eget és a földet; a hármas szám az eget, a földet és a közöttük lévő világot. Ugyanakkor a páratlan számok rendszerint a jang absztrakciói voltak, a párosak pedig a jiné.

Ókori forrásokból tudjuk, hogy a Keleti Csou-korban a matematika a műveltség és a tudomány önálló részterületeként különült el, s egyaránt része volt az aritmetika, az algebra, valamint a geometria. Ekkorra a gondolkodás más területeihez hasonlóan a matematikai gondolkodásban is megjelent az az igény, hogy minél pontosabban meghatározzák a fogalmak jelentését, *definíciókat* alkossanak. Az i. e. IV. században keletkezett motista kánonokban például több geometriai fogalom definícióját megtalálhatjuk, köztük az alábbi is:

„A kör: egy középponttól (számított) egyenlő távolságok.”⁷⁵

A korszak matematikusai ugyanakkor igyekeztek a konkrét példáktól, az egyedi szituációktól elvonatkoztatott, *általános* érvényű matematikai elvek birtokába jutni.

Nézzük például a Pitagorasz-tételben foglalt szabályt. Az ókori kínaiak a derékszögű háromszög egyik befogóját a gnómónt jelentő „ku” szóval nevezték el, a másik befogót a gnómón árnyékát jelölő „kou” szóval, az átfogót pedig a húr jelentésű „hszien” szóval. Ezért a derékszögű háromszöget kou-ku-formának (kou-ku-hszing) hívták. A *Csou-pi szuan-csing* című könyv, amely az i. e. VI. század és az i. e. I. század között keletkezett szövegeket tartalmaz, így írja le a „Pitagorasz-tételt”:

„A kout és a kut szorozzuk össze önmagával, ezt követően adjuk össze, majd vonjunk belőle négyzetgyököt, s megkapjuk a hszient.”⁷⁶

A közelmúlt ásatásai során egy, az i. e. II. század első feléből származó sírból előkerült matematikai tárgyú mű, *A számolás művészetének könyve* (Szuan-su su) egyes részletei ugyancsak általános érvényű matematikai elveket fogalmaznak meg. Lássunk belőlük példát:

„Tört szám értékének növelése és csökkentése: törtek értékét úgy növeljük, hogy növeljük a számlálójukat; törtek értékét úgy csökkentjük, hogy növeljük a nevezőjüket.”⁷⁷

Az ókori Kína fontos matematikai tárgyú munkája *A számolás művészetének kilenc könyve* (Csiu-csang szuan-su) című mű, amelyben a Csou-, a Csin- és a Han-dinasztia korának (kb. i. e. XI. sz.–i. sz. 220) matematikai ismeretei elegyednek.⁷⁸ A könyv 246 darab, témáját rendszerint a

⁷⁵ Tőkei Ferenc fordítása, in: *Kínaiszofisztika és logika* (Orientalisztikai Munkaközösség – Balassi Kiadó, 1997), 59. o.

⁷⁶ In: J. Needham: *Science and civilisation in China*, Vol. III., 21. o.

⁷⁷ In: Li Yan, Du Shiran: *Chinese mathematics* (Clarendon Press, Oxford, 1987), 58. o.

⁷⁸ Li Yan, Du Shiran: *Chinese mathematics*, 33. o.

gyakorlati életből merítő feladatot tartalmaz, és ismerteti azok megoldásának módját. Összeállítói a feladatokat kilenc könyvbe, kilenc fejezetbe sorolták. A feladatok között található egyszerű sokszögekre, valamint a körre és részeire vonatkozó területszámítás (a π értékét háromnak véve), térfogatszámítás, törtekkel végzendő művelet, négyzetgyökvonás és köbgyökvonás, sokismeretlenes elsőfokú egyenletrendszer-megoldás, másodfokú egyenletre vezető feladat stb.

A számolás művészetének kilenc könyve kifejt például egy algoritmust n ismeretlenes, n elsőfokú egyenletről álló egyenletrendszerek megoldására. Ez az algoritmus a fang-cseng módszer. Az általános sémát illusztráljuk a VIII. könyv első feladatával:

3 kéve bő termésű, 2 kéve közepes termésű és 1 kéve gyenge termésű rizs együtt 39 véka magot ad; 2 bő termésű, 3 közepes termésű és 1 gyenge termésű kéve összesen 34 véka magot ad. 1 bő, 2 közepes és 3 gyenge termésű kéve 26 véka magot ad. A kérdés az, hogy mennyi magot ad egy-egy kéve bő, közepes, illetve gyenge termésű rizs.

A feladat fang-cseng módszerrel való megoldása azzal kezdődött, hogy számolópálcákból kirakták a fang-cseng táblázatot, melyben az egyes egyenletekben szereplő mennyiségeket külön oszlopokba rendezték. A kiindulási táblázat a következőképpen nézett ki:

I	II	III	
II	III	II	
III	I	I	
=T	≡ III	≡ III	

A táblázat elkészítését követően a jobb oldali oszlop legfelső számával beszorozták a középső oszlop minden tagját, majd az így átalakított oszlopból tagonként kivonták a jobb oldali oszlopot. A kivonást addig ismételték, amíg a csökkentendő oszlop legfelső együtthatója nulla nem lett. Ezt az algoritmust a harmadik oszlopra is alkalmazva elérték, hogy a táblázat első sora az utolsó együttható kivételével csak nullát tartalmazzon. Ezután folytatták az algoritmus alkalmazását a felső sor és a bal oldali oszlop elhagyásával keletkező táblázatra, és az alábbi egyenletrendszernek megfelelő eredményt kapták:

$$\begin{aligned} 3x + 2y + z &= 39 \\ 5y + z &= 24 \\ 36z &= 99 \end{aligned}$$

A számolás folyamata az alábbi módon zajlott:

A,	1	2	3	B,	1	3	C,	3	D,	3
	2	3	2		2	5	2	4	5	2
	3	1	1		3	1	1	8	1	1
	26	34	39		26	24	39	39	24	39

Az ókori kínai matematika és a tudomány más területeinek eredményei korántsem maradtak a világ egyik civilizációs központjaként funkcionáló Kína határain belül, s elterjedvén jelentős hatást gyakoroltak az ázsiai kontinens számos népének tudományos gondolkodására.

D) Összegzés

Székely László

Ha reggel fölkelünk, s óránkra nézünk, a kétszer tizenkettes napbeosztásnak megfelelő számjegyeket látjuk rajta tízes számrendszerben lejegyezve, míg a nagymutató és a másodpercmutató közös skáláján hatvan beosztást találunk. Életünket, mindennapjainkat ezen állandó hosszúságú órák, s az óra hatvanadának megfelelő percek szerint szervezzük meg: ezek az órák és percek ma időszemléletünk és időérzetünk elválaszthatatlan összetevőit képezik. A kirakatokban az áruk árait a tizedes törtjelölésnek megfelelő forintos-filléres bontásban látjuk, s így vannak skálázva hossz- és súlymértékeink is. Az eladó a tízes helyiértékes rendszerben írja föl a mennyiséget és az árat, s a törtértéket tizedes rendszerben jelöli. Naptárunk a Nap éves járásán alapuló naptár, szögmérőnkön a fokok értéke akkora, hogy 360° tesz ki egy teljes kört. Anélkül, hogy gondolnánk rá, mindennapjainkat áthatják a 4000 évvel ezelőtt élt egyiptomiak és mezopotámiaiak által megalkotott fogalmak és jelöléstechnikák: nélkülük modern életünk elképzelhetetlen volna. Lehet-e ennél meggyőzőbb bizonyítéka annak, hogy minden megszakítottság, minden paradigma-váltás és szellemi-kulturális forradalom ellenére ezen régen élt emberekkel mégiscsak összeköt a történelmi folytonosság, ők mégiscsak egy bizonyos értelemben szellemi elődeink voltak? Nemcsak a múzeumokban, a 3–4000 éves múltból elénk bukkanó sejtelmes leletekben, hanem eleven jelenként, mindennapjaink itt és mostjában, számfogalmunkban, naptárunkban és időbeosztásunkban is jelen van ez a múlt: e múltnak örökösei vagyunk.

Irodalom

- BAUMGARTEN, Alajos. *A számírás története*. Középiskolai Matematikai Lapok. 1902–3.
- BRECHER, K. és FREITAG, M. (ed.). *Astronomy of the Ancients*. The MIT Press, Cambridge, Mass. and London. 1979.
- DOBROVITS, Aladár. *Válogatott tanulmányai*. Akadémia, Budapest. 1979.
- FEHÉR, Márta. *A tudományfejlődés kérdőjelei*. Akadémia, Budapest. 1983.
- FILEP, László és Gyula, BEREZNAI. *A számírás története*. Gondolat, Budapest. 1982.
- GHALIANGUI, P. *The Physician of Pharaonic Egypt*. Kairó. 1983.
- HAHN, István. *Naptári rendszerek és időszámítás*. Gondolat, Budapest. 1983.
- KÁKOSY, László és Varga, Edith. *Egy évezred a Nílus völgyében*. Gondolat, Budapest. 1970.
- KÁKOSY, László. *Az ókori Egyiptom története és kultúrája*. Osiris, Budapest. 1998.
- KÁKOSY, László. *Ré fiai*. Akadémia, Budapest. 1974.
- KOMORÓCZY, Géza és KALMÁR, Éva. „Fénylő ölednek édes örömében ...”. *A sumér irodalom kistükré*. Európa, Budapest. 1983.
- KUHN, Thomas. *A tudományos forradalmak szerkezete*. Gondolat, Budapest. 1983.
- LOEWE, M. és SHAUGHNESSY, E. L. *The Cambridge History of Ancient China*. Cambridge University Press. 1999.
- MAHLER, Ede. *Az egyiptomiak matematikai és asztronómiai ismeretei 1–2*. Matematikai és Fizikai Lapok. 13. 1902.
- MEDGYESI, Pál. A Cheops-piramis matematikája. *Természet Világa*, 104. 1973.
- MASPERO, Henri. *Az ókori Kína*. Gondolat, Budapest. 1978.
- MORAVCSIK, Gyula. *Miről vallanak a papiruszok?* Gondolat, Budapest. 1961.
- NEEDHAM, Joseph. *Science and Civilisation in China, Vol. II-III*. Cambridge University Press. 1956. 1959.
- NEUGEBAUER, O. *Az egzakt tudományok az ókorban*. Gondolat, Budapest. 1984.
- OPPENHEIM, A. L. *Az ókori Mezopotámia*. Gondolat, Budapest. 1982.

- PEET, T. E. *The Rhind Mathematical Papyrus*. London. 1923.
- PETRIE, F. *Wisdom of the Egyptians*. Quaritch, London. 1940.
- PONORI THEWREWK, Aurél. A Kheopsz piramisról. *Csillagászati Lapok*, 6. 1944.
- SARTON, George. *A History of Science I–II*. Oxford University Press, London. 1959.
- SARTON, George. *A History of Science. Ancient Science Through the Golden Age of Greece*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1959.
- SILIOTTI, Alberto. *Egyiptomi piramosok*. Gabo, Budapest. 1998.
- SIMONYI, Károly. *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest. 1986.
- STRUVE, W. W. *Matematischer Papyrus des staatlichen Museums der Schönen Kunste in Moskau*. Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik. Abteilung A.: Quellen 1. Berlin. 1930.
- TÓKEI, Ferenc. *Kínai filozófia*, I–III. köt. Akadémia, Budapest. 1962.
- TÓKEI, Ferenc. *Kínai szofisztika és logika*. Orientalisztikai Munkaközösség – Balassi. 1997.
- VEKERDI, László. *A matematikai absztrakció történetéből*. Kritérion, Bukarest. 1972.
- van der WAERDEN, B. L. *Egy tudomány ébredése*. Gondolat, Budapest. 1977.

II. AZ ÓKORI GÖRÖG TERMÉSZETTUDOMÁNY ÉS MATEMATIKA TÖRTÉNETE

A) Bevezetés

Ropolyi László és Székely László

1. A „görög csoda”

Ha az ókori görög kultúra, illetve az ókori görög világ felé fordulunk, a legismertebb – már-már közhelyszerű – fogalom, mely fölmerül bennünk, a „görög csoda” fogalma.¹ A „csoda” kifejezés utal arra, hogy a görögöknél valami új, a korábbi kultúrákhoz képest meglepő jött létre, s ez az új a korábbi kultúrtörténetből levezethetetlen módon olyan világ, melyben a modern európai szellem már otthon érezheti magát. Mert a „görög csoda” fogalmához szorosán párosul az metafora is, mely szerint az ókori Görögország az európai kultúra bölcsője, s Hegel jellemzése, mely szerint az ókori görögök az európai történelem harmonikus gyermekkorát élték.

A történelmi emlékek és a régi kultúrák ezen emlékeken alapuló rekonstrukciói alapján értelmesebbnek tűnik a nagy ókori földművelő társadalmakat – s talán velük együtt az európai „fölfedezők” által tragikusan elpusztított nagy dél-amerikai indián birodalmakat is – egy nagy történelmi típusba sorolnunk. A „görög csoda” igazi értelme az, hogy az ókori görögöknél e gyakran és hibásan „ókori rabszolgatartó társadalom”-ként megjelölt (de valójában nem a rabszolgatartás által meghatározott) társadalomtípustól határozottan különböző társadalom és kultúra alakult ki, s ennek nyomán a történelem fejlődésének új, korábban példa nélkül álló ága sarjadt ki. S ha figyelembe vesszük azt, hogy modern világunk ezen új ágának a „gyümölcse”, racionális értelmet kap „az ókori Görögország az európai kultúra bölcsője” metafora is.

2. A szuverén görög személyiség

Vajon mi az az új mozzanat, mely a görög kultúrát az őt megelőző és a vele kortárs kultúrákkal szemben kitünteti? A „görög csoda” kapcsán egyrészt a görög szellem művészi, filozófiai és tudományos teljesítményeire, másrészt az ión poliszok közeletére, ezen belül is különösen az athéni demokráciára, valamint általában a „leleményes” görög ember életvitelére, ideáljaira szoktak hivatkozni. Meg szokták még említeni a jellegzetességek között a görög földmagántulajdon intézményét, mely lehetővé tette a szabad, s önálló földművesek megjelenését, valamint a görög szellem bátorságát, vállalkozó kedvét.

Mindezen vonások mögött azonban mégiscsak ott állt „valaki”, aki e csoda elemeinek létrehozója és hordozója volt: a görög ember. A „görög csoda” a görög emberben, az őt jellemző új személyiségtípusban szintetizálódik egységgé. Ezt az új személyiségtípust úgy jellemezhetjük, mint a kulturális tradícióhoz és az őt körülvevő politikai-etikai közösséghez kritikailag viszonyuló,

¹ Pl.: „Századokon át beszéltek a ‘görög csodáról’, s ezen mindenki azt értette, hogy a görög nép alkotóerejének teljében, hirtelen bukkant elő az ismeretlenségből. Ma már tudjuk, hogy a görögök nem a Zeusz fejéből teljes fegyverzetben kipattant Athéné istennőként léptek a történelem színpadára. Fölfedezéseikért, elsőségükért, vívmányaikért keményen megdolgoztak, ezeket sok esetben a szó szoros értelmében úgy kellett kiharcolniuk. ... A csoda éppen abban rejlik, hogy mindezt elérték. S abban is, hogy egyáltalában elérték.” Zammarovsky, Vojtech: *A görög csoda* (Madách, Budapest, 1980).

e közösségtől magát tudatosan megkülönböztető; vele szemben egyéni igényeit, becsvágyát tudatosan megfogalmazó, szuverén világmegértésre törekvő egyént. Természetesen ez az tudatosság és szuverenitás nem valami történelmen és kultúrán kívüli jelenség volt: e görög személyiségtípus csak a görög történelem által, a görög kultúra kontextusában, a görög polisz világában jelenhetett meg, s létezhetett, hogy azután a görög történelemből leszármazó európai fejlődésben – a keresztény értékrenddel ötvöződve – továbbhagyományozza szellemiségét. A XIX. századi francia gondolkodó, Lamennais szavaival: „Az ember itt (azaz az ókori Görögországban, Sz. L.) tett szert személyes és szabad voltának tudatára, s ezzel új korszak kezdődött fejlődésének történetében”.²

Könnyű belátni, hogy a most jellemzett szuverén, önmagát szabadnak tudó személyiségtípus jelenik meg a leleményes, vállalkozásra kész, dicsőségre törő görög ember jól ismert képében, ugyanúgy, mint a görög hőskultuszban, vagy az olimpiai babérkoszorúért folytatott békés vetélkedésben. Hasonlóan e személyiségtípussal van összefüggésben a személyes tartalmú költészet görögországi megszületése, s általában az emberközpontú görög művészet. A görög ember e szuverenitásának és öntudatosságának talán legszebb költői kifejeződésével Szophoklész nevezetes kardalának soraiban találkozhatunk:

„Sok van, mi csodálatos, De az embernél nincs semmi csodálatosabb ...”³

Az önálló világmegértésre törekvő kritikai görög szellemiség hozza létre azt a sajátos kérdésfeltevést és gondolkodásmódot, valamint azokat a sajátos válaszokat, melyek a kultúra – vagy legalábbis az európai kultúra – filozófiának nevezett összetevőjét alkotják, mint ahogyan *a görög tudományokat is, melyeket kezdetben a filozófiához kapcsolódva, a filozófia által befolyásoltan műveltek, hogy azután később vele szemben egyre inkább önállósodjanak.* Igen kifejezőek ebből a szempontból azok a motívumok, amelyek alapján a görög tradíció két nevezetes geometriai tételt – a tudománytörténészek szerint olykor vitatott jogossággal – a görög filozófia két nagy személyiségének, Thalésznek, illetve Püthagorasznak tulajdonít. Mint láttuk, ha az egyiptomiak esetében e tételek ismerete bizonytalan is, a babilóniaiak határozottan ismerték a derékszögű háromszögek befogói és átfogója közötti összefüggést, s az építészeti emlékek alapján föltételezhető, hogy Thalész tételéről is tudomásuk volt. A görög hagyomány szerint azonban Thalész, illetve Püthagorasz nemcsak ismerte, hanem bizonyította is ezeket a tételeket, s ha ebben esetleg tévednek is a görög történetírók, s e bizonyítások későbbi eredetűek, a bizonyításra való hivatkozás karakterisztikus a görög gondolkodás számára. Régről ismert, s így „patinás” összefüggéseket bizonyítani, melyek ráadásul a gyakorlati alkalmazások során számtalanszor beváltak már: ez annyit jelent, mint az áthagyományozódott, tradicionális tudáshoz kritikailag viszonyulni, s igazságukat önállóan, szuverén értelmünkre támaszkodva belátni. *A görög gondolkodást áthatja ez a kritikai megközelítési mód, s vele szorosan összefonódva a bizonyított igazságok keresése: az az attitűd, mely szerint nem elég pusztán „rálelni” a tudásra, vagy átvenni azt a megbízható őstől, hanem annak igazságát értelmünk segítségével be is kell látnunk.* A modern

² Lamennais, H. F. R. de: *Le passé et l'avenir du peuple.* in: *Paroles d'un croyant, etc.* (Garnier Frères, Paris, év nélkül), 252. o.

³ Szophoklész: *Antigoné.* in: *Görög drámák* (Európa Könykiadó, Budapest, 1998), 53. o.

európai gondolkodás, a modern európai tudomány pedig ezen előzmények nélküli, sajátosan görög attitűd örököse.⁴

3. A görögök tudományos teljesítménye

A legtöbb tudománytörténeti munkában találunk hosszabb-rövidebb passzusokat a görög tudomány történetéről. Sőt, mi több, gyakran ugyanazokat a gondolatokat, gondolatmeneteket, időnként még ugyanazokat a megfogalmazásokat és idézeteket is fellelhetjük a különféle írásokban és könyvekben. Igazán nehéz feladat lenne ettől a gyakorlattól határozottan eltávolodni és a történet radikálisan új és eredeti értelmezésével előállni. Ilyen *eredetiséget* sajnos nem ígérhetünk – legfeljebb valamiféle *egyéni* változatot tudunk nyújtani olvasóinknak.

Mindazonáltal talán akkor járunk el a leghelyesebben, ha követjük a híres tudománytörténész, Marshall Clagett eljárását⁵, és a tudományos ismeretek konkrét tartalmától különválasztva – célszerűen még azok tárgyalása előtt megvitatjuk a görög tudomány módszertani jellegzetességeit, és csak ezt követően fogunk hozzá az ismeretek történeti fejlődésének bemutatásához.

a) Az antik görög tudományos módszer kialakulása és jellegzetességei

Az ókori görögök ismereteik jelentős részét korábbi kultúrák (főként Egyiptom és Mezopotámia) képviselőitől sajátították el. Ugyanakkor azt figyelhetjük meg, hogy ezeket az ismereteket *más összefüggésbe* ágyazva, más világszemlélettel kezelték, s a tudásnak egészen más szerepet tulajdonítottak, mint a folyamati kultúrák lakói.

Mindenekelőtt fontos észrevenni, hogy míg a korábbi kultúrák képviselői tudásukat elsősorban konkrét problémák, illetve szituációk megértésére és kezelésére használható *empirikus szabályokba* foglalták, addig a görögök túlléptek ezen, s a konkrét ismeretekből valamiféle *általánosított tudás* létrehozására törekedtek. A különféle tapasztalati körökhöz tartozó ismereteket nem pusztán egyes konkrét feladatok megoldásában alkalmazták, hanem összehasonlítva, egymáshoz kapcsolva, egymásra vonatkoztatva valamilyen összefüggő nézetrendszer, más szóval *világnézet* kiépítésében is. A szóban forgó ismeretekre épülő új típusú világnézet – *a filozófia*. Feltűnő, hogy az egyiptomiakhoz és a mezopotámiaiakhoz hasonlóan a görögöknek is voltak jelentős mítoszai, mindenütt észrevehetjük a vallások fontos társadalmi szerepét is, de filozófia csak a görögöknél alakult ki. Az antik görög filozófia képviselői által

⁴ Tisztázandó kérdésként vetődik még föl, hogy milyen tényezők együttthatása képpen született – születhetett – meg a most jellemzett görög személyiségtípus, s az általa létrehozott sajátos kultúra.

Az egyik lehetséges válasz erre a kérdésre az, hogy a kedvező körülmények, így a kedvező földrajzi viszonyok, a hajózás, a kereskedelem, a különböző, egymással felelő kultúrák egyidejű megismerése, s egymással való szembesítése stb. eredményeképpen alakult ki a sajátos görög szellem, s született meg az általa jellemzett, s meghatározott görög kultúra és életvilág, a görög demokráciával, s a föld magántulajdonával. Egy másik lehetséges megközelítés szerint viszont a kedvező körülmények először a föld magántulajdonlását alakították ki, s ezen a gazdasági alapon bontakozott ki a görög társadalom és kultúra jellegzetes fejlődése. E két egymással ellentétes álláspont érdekesítő történelemfilozófiai vitáknak szolgálhat alapul, s minden bizonnyal sosem lehet majd egyértelműen dönteni közöttük: mindkettőnek vannak erősebb és gyengébb pontjai. Valószínű, hogy a görög kultúrának az európai történelem szempontjából sorsdöntő megjelenésében mindig maradni fog valami megmagyarázhatatlan, tovább vissza nem vezethető, „érthetetlen” mozzanat: a „görög csoda” ebben az értelemben is megmarad örökre csodának.

⁵ Clagett, Marshall: *Greek Science in Antiquity* (Abelard-Schuman, New York, 1955).

kialakított ismeretszerző és ismeretrendszerző eljárásokon és módszereken alapultak a később kifejlődő tudományok eljárásai és módszerei. Az antik tudomány jellegzetes eljárásainak és módszereinek kialakulását tehát a filozófia kialakulásának folyamatát követve érthetjük meg.

A filozófiai szemléletmód kibontakozása, s ezzel a korábban uralkodó mitologikus világkép meghaladása mindenekelőtt abban állt, hogy a különféle ismereteket *kritikailag* kezelték s valamiféle *összefüggő egészzé, ésszerű* rendszerré próbálták kiépíteni. De vajon milyen vonásokkal jellemezhetnénk azt a kritikai szemléletmódot, amit az új típusú – később tudományosnak vagy filozófiaiának is nevezett – világkép kialakítása során a görög gondolkodók használtak? A „kritika” elsősorban valamilyen állapotnak, helyzetnek, viszonynak, elfogadott véleménynek – gyakorlati vagy elméleti jellegű – kétségbevonását jelenti. A bizonyosság hiányának kinyilvánított formája. Sokféle motivációja és változata lehetséges. A filozófia kialakulásában szerepet játszó változat fontosabb jellegzetességeit megpróbáljuk felidézni.

Ilyenféle kritikai viszonyt létesíthetünk mindenekelőtt az egyes érzékszervek által szolgáltatott érzéki adatok *egymásra vonatkoztatásával, összehasonlításával és összekapcsolásával*, amely folyamatokban az érzéki tapasztalatok mellett a *fogalmi gondolkodás*, az észhasználat is döntő jelentőségre tehet szert. A „kritikai viszony” ebben az értelemben azt jelenti, hogy egyik tapasztalatunk kétségbe vonja, megingatja, korlátozza vagy befolyásolja más tapasztalatok érvényességét, valódiságát, illetve jelentőségét. Így például egy vizsgált objektumra vonatkozó eltérő természetű érzéki tapasztalataink összevetése során megfigyelhetünk alapvetően különböző, sőt gyakran egymásnak ellentmondó adatokat is (pl. egy félig vízbe mártott egyenes bot látványa és tapintása), s állást kell foglalnunk, hogy vajon az eltérő, s esetleg még egymásnak ellent is mondó tulajdonságok (példánkban a bot egyenessége, illetve megtört volta) valójában ugyanahhoz az egyetlen objektumhoz tartoznak-e, s ha igen, hogyan lehetséges mindez? Az eltérő természetű érzéki adatok *közvetlen* érzéki összevetése nyilvánvalóan nagyon bizonytalan eredményekre vezethet csak, hiszen pl. olyan állásfoglalást követel meg, hogy melyik érzékszervünk a megbízhatóbb, alapvetőbb, jobb, hitelesebb stb. Mindazonáltal ilyen összehasonlításokkal gyakran találkozunk a görög filozófusok (pl. Hérakleitosz, Démokritosz) írásaiban. Arisztotelész pl. a tapintás elsődleges volta mellett érvel.

Az érzéki adatok alapvetően másfajta összehasonlítását teszi lehetővé azonban, ha *nem közvetlen* formában vetjük össze, mondjuk, a tapintás és a látás ingereit, hanem *közvetett* formában tesszük meg ezt, igénybe véve valamiféle „közvetítőt”, valamilyen közös „nyelvet”, egy – ebből a szempontból – semleges közeg segítségét. Efféle közvetítő szerepet játszhatnak valamilyen, az ember és a vizsgált tárgy közé iktatott *materiális* (pl. használati és mérőeszközök) és *fogalmi eszközök* (pl. tapasztalatainknak *nyelvi*, fogalmi formában való, *elvont fogalmak* segítségével véghezvitt azonosítása, megnevezése is). Vegyük figyelembe, hogy az elvont gondolkodás és fogalomhasználat szemléletmódja *elvé* kritikai jellegű, hiszen az elvonatkoztatás folyamatában az érzéki valóság legtöbb elemét figyelmen kívül hagyjuk, csak néhány valóságelemet emelünk ki és veszünk figyelembe tapasztalataink fogalmi megjelenítése során. Sőt, mi több, akár arra az álláspontra is helyezkedhetünk, hogy az érzéki valóság egyáltalán nem szükséges feltétele gondolkodásunknak; ezzel a vélekedéssel nyilván az *egész* érzéki világ létét, illetve számunkra való jelentőségét kétségbe vonjuk. Vagyis: csakis a valóság valamiféle kritikus szemlélete teszi lehetővé a fogalmi gondolkodást; azt is mondhatnánk, hogy a gondolkodás előfeltétele az ember világhoz való viszonyának olyan megváltozása, amelynek során képessé válik az összehasonlításon alapuló szelekcióra, a valóságélmény jelentős részének, vagy akár az egész valóságnak a semmibe vételére, elhanyagolására, vagyis egyfajta kritikai szemléletmód

alkalmazására. (Mindez persze még egyáltalán nem biztosítja a gondolkodás helyességét.) Ezeknek a problémáknak a felvetése és megvitatása volt az eleai filozófiai iskola gondolkodóinak fő törekvése. Parmenidész hallatlan jelentőségű álláspontja szerint csakis az ellentmondásmentes fogalmakkal jellemzett és a helyes (véleménye szerint az ellentmondásmentes) gondolkodás révén leírható dolgok a valóban létezők, minden egyéb csupán látszat. Lényegében ezeken az eszméken alapul Platón jól kidolgozott idealista filozófiai rendszere is.

A materiális eszközhasználat során valamiféle „gyakorlati kritikai” eljárás folyhat, a nyelvi, fogalmi „eszközök” használata pedig inkább „elméleti kritikai” eljárásra használható. A „gyakorlati kritika” eljárásait később a gyakorlatiasabb, elsősorban a megfigyelésekre és kísérletekre koncentráló *empirista* orientációjú tudományok fejlesztik majd tovább, a görög világban azonban inkább az „elméleti kritika” módszereinek kidolgozása zajlott, ami egy *elméleti* orientációjú tudomány kidolgozásához vezetett. Fontos az is, hogy az „elméleti kritikai” szemléletmód tapasztalataink megnevezése, kinyilvánítása, megvitatása és megvédése révén *közösségi* jellegűvé válhat – ez a görögöknél meg is történt – s ezáltal hatékonysága megsokszorozódhat, ami a kritikailag értékelt ismeretek gyors fejlődését eredményezheti. Ez a fejlemény azt is lehetővé teszi, hogy az ismeretszerzés folyamatában az egyes egyének, illetve elszigetelt társadalmi csoportok sajátos tapasztalatait és gondolkodásmódját következtében előálló tévesztéseket, hibákat, esetlegességeket, szükségszerűen fennálló szubjektív vonásokat könnyebben észre lehet venni s ki lehet küszöbölni. Az eredmény egy *objektívebb*, a konkrét emberi korlátoktól függetlenebb ismeretrendszer lesz, ami nyilvánvalóan hívebb leírását nyújtja az embertől független világnak.

Mindezeket a görög világban alapvetően az tette lehetővé, elfogadottá és elterjedtté, hogy az antik görög társadalmakban *a tudás nyilvános*, „világi” jelleget öltött. Korábban a folyamati kultúrák társadalmában a tudás előállítás, megőrzése és fejlesztése egy meglehetősen szűk, a társadalom többi részétől elszigetelt kiváltságos réteg (papság, írástudók) feladata volt. A tudás ezeknek a zárt közösségeknek titkos tudásaként konzerválódott és működött évszázadokon át. A görög társadalom eltérő szerveződése azonban azt eredményezte, hogy a tudás a társadalom széles rétegei számára elérhető, megvitatható és hasznosítható lett. A tudás publikus jellege és az „ész nyilvános használata” a tudással kapcsolatos módszerek, az elért eredmények és a kitűzhető célok vonatkozásában is látványos fejlődést eredményezett.

Az ész nyilvános és általános használata következtében a korabeli filozófusok számára a gondolkodás *minden* szóba jöhető kérdésben alkalmazhatónak tűnt. A kritikai szemléletmód *univerzális* alkalmazhatósága következtében észrevehetővé váltak az adott közösség általánosan elfogadott és önkéntelenül követett tradícióinak világfelfogásukat meghatározó vonásai és korlátai.

Kritikusan viszonyulni az egész világlátásunkat meghatározó, a hagyományok erejével ránk nehezedő nézetrendszerhez: ezt aligha tekinthetjük könnyű feladatnak. A görög kultúrában mindez egy igen összetett fejlődési folyamat következményeként alakulhatott ki. A filozófia kialakulása előtt uralkodó mitológus világfelfogást ugyanis éppen az jellemzi, hogy a közösség tagjai kritikátlanul és a lehető legnagyobb mértékben azonosulni szeretnének a közösségre jellemző tradíciókkal, hiszen éppen az azonosulás, az adott hagyomány vállalása és követése avatja az egyedeket a közösség tagjaivá. A görög társadalmi fejlődés következtében azonban kialakulnak a közösségtől független életre is képes *egyéni* létrejöttének feltételei. Egyénekké azok válnak, akik valamilyen okok miatt (pl. kereskedelmi tevékenységet folytatván) kikerülnek a közösségi tradícióknak az életet minden részletében meghatározó hatásai alól, és részben, illetve valamilyen mértékben független életet élnek. Így kiszabadulva a szemléletüket korlátozó

tradicionális értékrendek keretei közül, az egyéniség kifejlődésének folyamatával párhuzamosan az adott tradíciókat kritikusan szemlélő világfelfogások tartós képviselője is lehetővé válik. Az egyén közösségtől való függetlensége *eleve* a közösséghez való tartozás kizárólagosságának, a közösségben feltétlenül érvényesülő hagyományoknak a kétségbevonása, ami nyilvánvalóan megjelenhet a gondolkodásban is. Ezen az alapon érthetőnek tűnnek az athéniaknak a „filozófia elleni vétkei”, például vádaskodásuk Szókratész ellenében. Szókratész kétségtelenül kritikusan viszonyult számos athéni tradícióhoz – ha nem is feltétlenül azokhoz, amikkel kapcsolatban megvádolták – amit nyilvánvalóan az tett számára lehetővé, hogy életformájának alakításában radikálisan szakított az Athénben megszokottal. Az életvitelében és kifinomult ironikus gondolkodásmódjában egyaránt megnyilvánuló kritikai attitűdöt a jó athéniak jó okkal tartották tradicionális értékeikre nézve veszélyesnek.

Valószínűleg a fentebb említett okai voltak annak, hogy a görög filozófusok a korabeli mitológikus hagyományok ellenében sikeresen próbálkozhattak a világfelfogás észhasználatra alapozott változatainak megfogalmazásaival. Törekvéseik abból a szempontból is lényeges változást jelentettek, hogy míg a mítoszok világméppel való azonosulás inkább az emberek *érzelmi* adottságait hasznosította és vette igénybe, addig a filozófia – a bölcsesség szeretete – inkább az *értelemre* hagyatkozott. A mítoszokban is előfordultak persze különféle tudáselemek, de ezeket nem az ész számára kezelhető elvont fogalmak közötti viszonyok hordozták, hanem jobbra megszemélyesített törekvések és erők (pl. különféle istenségek) működésével, illetve küzdelmeivel voltak kapcsolatban. Emiatt a mítoszok szemléletmódját szokás *antropomorf*nak nevezni, ami egyúttal azt is jelenti, hogy a filozófusok által előnyben részesített elvont fogalmi gondolkodás – kritikusan eltávolodva a mítoszok gyakorlatától és szakítva a megszemélyesítő eljárással – inkább *deantropomorf* jellegű. Talán jól illusztrálja ezt a különbséget Anaxagorasz felfogása, amely szerint a Nap nem valamiféle öntörvényű istenség, hanem „izzó kő, amelyet az aithér körforgása hordoz körül”.⁶

Korábban azt mondtuk, hogy a kritika a bizonyosság hiányának kinyilvánítása. Miután felidéztek a kritikai attitűd antik formáinak néhány fontosabb jellemzőjét, felvetődhet a kérdés, hogy vajon milyen lényegesebb következményei lehetnek a kritikai szemléletmód mindenre kiterjedő, következetes alkalmazásának? Vajon nem veszítünk-e el minden lehetséges támpontot, és nem válik-e egész világfelfogásunk alapjaiban bizonytalanná? A bizonytalanságtól való félelem sokakat visszatart a következetesen alkalmazott kritikai szemléletmód követésétől, és a filozófia, illetve a tudományok kínálta bizonytalanságokkal és intellektuális megpróbáltatásokkal fenyegető világértelmezés helyett szívesebben választják a bizonyossághoz vezető közvetlen utakat, a különféle vallások tradicionális világfelfogását, illetve misztikus ideológiák tanításait. Ámde a gondolkodás története arról tanúskodik, hogy a kritikai szemléletmód módszeres alkalmazásától is remélhetünk egyfajta bizonyosságot. A kritikai szemléletmód alkalmazása révén a bizonyosság különféle változatait és mértékeit rendelhetjük hozzá egyes ismereteinkhez, s ilyenformán egy – ebből a szempontból – összetett, de érthető világ képét állíthatjuk magunk elé. Világos és fontos különbségeket vehetünk észre: egyes ismereteink *szükségszerű* igazságokat hordoznak, míg mások *esetlegeseket*, egyik összefüggés szükségszerűen, állandóan és minden létező esetében érvényes, míg a másik csakis időlegesen, egyedi esetekben és véletlenszerűen fordul elő, és így tovább.

⁶ Kirk, G. S., Raven, J. E., Schofield, M.: *A preszókratikus filozófusok* (Atlantisz, Budapest, 1998), 541. o.

A bizonyosság eltérő fajtáinak és mértékeinek a megkülönböztetése, az emberi tudás természetének vizsgálata fontos része az antik görög bölcselek gondolatvilágának. Ebben a vonatkozásban legfontosabb fejleményként már a kezdeteknél felmerül az ismeretek *bizonyításának* igénye. Bizonyítások segítségével, pusztán gondolati úton *szükségszerűen érvényes* ismeretekhez juthatunk. A gondolkodás következményei gondolati igazságok, amelyek azonban bizonyos feltételek teljesülése esetében akár az érzéki valóságra is érvényesek lehetnek. Ennek a lehetőségnek a hasznosítása rendkívül fontos az ember számára, hiszen lehetővé teszi az *előrelátást*: egyes folyamatok, események *előrejelzését*, mesterséges, a természetben megfigyelhetetlen eljárások és eszközök *előállítását*. A tudás a görög kultúrában tehát két szerepet is betöltött. Egyrészt a filozófiai világképben összefoglalva a valóság megértését szolgálta, vagyis ésszerű *magyarázatot* nyújtott a világban megfigyelhető jelenségekkel kapcsolatban. Másrészt erre a megértésre alapozva racionális *jóslatokra* is vállalkozhatott, mindenekelett a természeti és társadalmi jelenségek körében (pl. az égbolt, az időjárás eseményei, erkölcsi és politikai problémák esetében), de alkalmanként technológiai és technikai kérdésekben is. Így eléggé érthető, hogy sok gondolkodót foglalkoztatott a bizonyítások során alkalmazható *módszerek*, az elfogadható és érvényes gondolatmenetek problémája. A helyes gondolkodás törvényszerűségeit tanulmányozó *logika* Parmenidész és Zénón, számos szofista bölcselek, Platón és Arisztotelész – sokszor egymásnak is ellenszegülő – törekvései következtében indult fejlődésnek.

A görög filozófiában létrejött tudományos módszer jellegzetességei tehát: az elvonatkoztatás fontosságának felismerése, az észhasználaton alapuló fogalmi gondolkodás előtérbe kerülése, a kritikai szemléletmód mindenre kiterjedő alkalmazása, és a megszerezhető tudás helyességének bizonyítása.

b) Az antik tudományos gondolkodásmód változatai

A tudományos módszer fent említett jellegzetességei egyes gondolkodók esetében persze különféle formát öltöttek, különböző konkrét kombinációkban fordultak elő. Kétségtelen ugyan, hogy a görög kultúrában – évszázadokon keresztül – *univerzális ismeretrendszerként* az i. e. VII. században kialakuló és antik története során gyorsan fejlődő *filozófia* gyűjtötte össze az *összes* korabeli ismeretet. De az is nyilvánvaló, hogy az ismeretek összességéből kiépülő filozófiák változatai – világnézeti jellegüknek megfelelően – a rendelkezésre álló ismeretek halmazából különféle értékrendeket, ideológiákat követve eltérő rendszereket állítottak elő. A filozófia eme plurális jellege miatt a rendelkezésre álló ismerethalmazból összeállított különböző *tudásrendszerek* némileg eltérő vonásokat mutattak, sőt gyakran ellentétes alapelveket követtek és különböző eljárásmodokat részesítettek előnyben.

Így például lényeges különbségeket találunk, ha összehasonlítjuk a *megfigyelések*, tapasztalatok és az elméleti *alapelvek viszonyának* eltérő felfogásait a különféle filozófiai rendszerekben. Ebben a vonatkozásban a görög filozófiában három alapvetően különböző megközelítéssel is találkozhatunk: *a korai ión filozófia és az atomisták álláspontjával, az eleaiak, a püthagoreusok, illetve a platonizmus felfogásával, valamint az arisztotelianizmus nézőpontjával.*

Az i. e. VII–VI. századi *ión filozófia* képviselői, Thalész, Anaximandrosz, Anaximenész, valamint Empedoklész és az atomista Démokritosz is elsősorban megfigyelésekre és az így szerzett érzéki tapasztalatokra alapozta világmagyarázó elveit. Náluk az alapelvek *érzéki-anyagi* jellegűek (víz, apeiron, levegő, tűz, föld, atom), amelyek valóságossága és hasznossága mellett elsősorban közvetlen érzéki élményeink tanúskodnak. Ők „naivan” hittek a megfigyelésekben, tapasztalatokban, számukra az igazságok mindenekelett nyilvánvaló *tapasztalati tényekben*

öltöttek testet. Világunk megismeréséhez mindenekelőtt a tapasztalatok gyűjtése, összevetése, elemzése és összegzése vezet. Jellemző Anaximenész egyik megfigyelése, mely szerint:

„... az ember meleget is, hideget is lehel ki a száján. A lehelet ugyanis, ha az ajkak összeszorítják és sűrítik, kihűl, ha azonban a száj nyitva marad, a kiáradó lehelet a ritkulás következtében meleg”⁷.

Megfigyelésével teljesen összhangban van világmagyarázatának alapgondolata: a világ alapelve (az arkhé) a levegő, amiből sűrűsödés és ritkulás révén állnak elő a különféle természetű létezők. Az ión filozófusok az anyagi-érzéki alapelvek elsődlegességére alapozva sikeresen kritizálhatták a mítoszok számos képzelt lényé és képzelt ténye valóságosságát, de pl. a dolgok tulajdonságai (nagyság, súly, íz, szín stb.) s kevés érzéki tartalommal rendelkező elvont létezők (lélek, jó stb.) magyarázatai során már nehezebben boldogultak. Ilyen problémákkal küszködik pl. Démokritosz világmagyarázata is.

Teljesen más felfogást képviselt filozófusok egy másik csoportja: az *eleai Parmenidész és Zénón, a püthagoreusok és Platón*. Az eleai filozófusok tapasztalataink esetlegességét és bizonytalanságát hangsúlyozván a kétségtelen igazság felkutatását kizárólag a *gondolkodás* feladatának tartották. Az egyetlen, örök, változatlan lényeg az érzékek számára elérhetetlen marad. Ahogyan Parmenidész mondja: „... mert ugyanaz a gondolkodás és a létezés”⁸. De nem akármiféle gondolkodás, hanem csakis az ellentmondásokat nem tartalmazó gondolkodás szolgálhat a világra, a létezőre vonatkozó biztos tudásunk alapjaként. Nem a tapasztalat, hanem a helyes gondolkodás dönt a létezés – nemlétezés kérdéseiben is: csakis az létezik, ami ellentmondásokat nem tartalmazó fogalmakkal leírható, ellentmondásmentes gondolkodással megérthető. Alapelveik következetes alkalmazásával nemlétezőnek nyilvánítják a mindennapokban kétségtelenül létezőnek tekintett mozgásokat és sokféleséget is. A valóság örök és változatlan lényegének keresésében fontos szerepet játszott a püthagoreusok tanítása: a létezők lényege, alapelve a *szám*. Ennek az alapelvnek az elfogadásából következik a mennyiségi viszonyok rendszeres és következetes tanulmányozásának igénye. Az ilyenfajta vizsgálódások a világban tapasztalható relációk, arányok, összefüggések, *harmóniák* és *diszharmóniák* kimutatásával elsősorban a valóság szerkezetének tanulmányozásában eredményesek.

Platón ismeretelméletében sajátos módon kombinálta s fejlesztette tovább az eleaiak és a püthagoreusok tanításait. Az ő álláspontja szerint a változékony és romlékony anyagi-érzéki valóság nem érhető meg önmagában, hiszen az érzéki világ csak lenyomata, tökéletlen másolata az *ideák* örök, változatlan és tökéletes *világának*. Pusztán az érzéki tapasztalatok alapján nem juthatunk végérvényes igazságokhoz, tapasztalatainkra legfeljebb *véleményeket* alapozhatunk, amelyek bizonyossága kétséges. Kétségtelenül igaz ismeretekhez az ideákkal való közvetlen megismerkedésünk vezethet, ami sajátos lelki tevékenységgel érhető el. Az ember lelke az ideákkal rokon természetű lévén (másként mondva: az ideák nem anyagi, hanem eszmei természetű létezők), közvetlenül is kapcsolatba léphet ideákkal, s erre a tudásra ráeszmélve, „visszaemlékezve” örök, érvényes, biztos tudáshoz juthatunk. Ez a tudás persze az ideákra vonatkozik, vagyis az érzéki dolgoktól függetlennek tekinthető „igazi” valóságról szól. Mindazonáltal – az ideák elsődleges, az anyagi létezőket meghatározó természete miatt –

⁷ Görög gondolkodók 1 (Kossuth, Budapest, 1996), 30. o.

⁸ Görög gondolkodók 1 (Kossuth, Budapest, 1996), 85. o.

tartalmazza a dolgok *leglényegesebbnek* gondolt, sajátos *természetüktől elválaszthatatlannak* tűnő összetevőit, tulajdonságait és meghatározottságait, azokat, amelyek a kérdéses dolog minden konkrét, egyes, az anyagi-érzéki valóságban megjelenő példányában *szükségszerűen* előfordulnak. Így tehát az ideák megismerése végső soron az anyagi valóság általános, lényegi és szükségszerű vonásainak a megismeréséhez is vezethet. Azt is mondhatnánk, hogy a platóni tanítások a püthagoreus törekvésekhez hasonlóan nagyon hasznosak *a valóság szerkezetének* kutatásában, de hatékonyabbak azoknál, mivel nem pusztán a mennyiségi viszonyokra fordítanak figyelmet, hanem a dolgok közötti minőségi különbségeket is hangsúlyozzák és tanulmányozzák. Az eleai filozófia, a püthagoreusok gondolatvilága és Platón ismeretelmélete – mint majd látni fogjuk – alapvető hatást gyakorolt a görög matematika és csillagászat kialakulására és fejlődésére. Ugyanakkor azt is megfigyelhetjük, hogy ebben a gondolkörben maradván az elvont, általános, lényegi összefüggések időtlen világa és az érzéki tapasztalatok konkrét, egyedi, esetlegességekkel terhelt elemei közötti kapcsolat gyakran kezelhetetlen.

Arisztotelész ismeretelméleti elvei képviselnek egy harmadik – mind az ión, mind az eleai szemléletmódhoz képest új, egyúttal sokkal kidolgozottabb és hatékonyabb – alternatívát. *Arisztotelész* is nélkülözhetetlennek tartja az ión filozófusok (s mások, pl. egyes orvosi iskolák) által előnyben részesített módszert, az érzéki tapasztalatok felhasználását a megismerés folyamatában, és elutasítja Platón álláspontját, amely szerint a tapasztalatból csak vélekedés származhat. *Arisztotelész* megmutatja, hogy amennyiben helyesen alkalmazzuk a megismerés szabályait, akkor igazságokhoz is juthatunk.

Arisztotelész ismeretelmélete mindenféle tudás természetét és megszerzésének módszerét elemzi.⁹ „*Metafizika*” és „*Második Analitika*” című munkáiban részletesen foglalkozik a tudományos megismerés sajátosságaival is. Leírja a megismerés induktív és deduktív szakaszait, formáit és kapcsolatukat is jellemzi. A tudomány első princípiumai (az axiómák, hipotézisek és definíciók), amelyek egész építményének alapját képezik, nem szorulnak bizonyításra, ezekhez az észlelt jelenségek megfelelő elemzése révén, illetve valamilyen sajátos indukciós logika segítségével, de végül is tulajdonképpen közvetlen belátással juthatunk. A princípiumokból kikövetkeztethető igazságok megtalálásának módszere a *szillogizmusokra* vonatkozó tanítása. Ez a helyes következtetési szabályokat tartalmazza. Alkalmazásukkal bizonyított tudásra tehetünk szert, ami csakis szükségszerűen igaz állításokat tartalmazhat.

A tudományos vizsgálódás tárgyaként *Arisztotelész* a következőket jelöli meg:

„(1) a dolog nevének jelentése, (2) hogy az illető dolog létezik, (3) mi az illető dolog, (4) hogy vannak bizonyos tulajdonságai, (5) miért ezek a tulajdonságai”¹⁰

Ha nézeteit összevetjük a korábban említett filozófusok törekvéseivel, szembetűnő *Arisztotelész* ambícióinak szisztematikussága és komplexitása. Ugyanakkor megfigyelhetjük azt is, hogy *Arisztotelész*t elsősorban a dolgok *minőségi* meghatározottságai foglalkoztatják, s kevés figyelmet fordít a mennyiségi összefüggésekre. Ez azzal a következménnyel jár, hogy nála (s lényegében az összes többi antik gondolkodónál is) a tudományok nem kvantitatív orientációjúak. Így a tapasztalatgyűjtés inkább a jelenségek alapos *megfigyelése* révén és nem kvantitatív kísérleteket

⁹ Ezeket a nézeteit főként az „*Organon*” címmel összegyűjtött írásai alapján ismerhetjük meg, pl. a következő kiadást forgatva: *Arisztotelész: Organon* (Akadémiai, Budapest, 1979). Hasznos és érdekes összefoglalást nyújt D. Ross: *Arisztotelész* (Osiris, Budapest, 1996) című könyvének Logika fejezetében.

¹⁰ Lásd Ross fentebb idézett könyve, 61. o.

végezve zajlik, s az elméleti összegzésben sem a matematika dominál. (A tudományok kvantitatív érzékenysége a XVI–XVII. század során fejlődik ki, amikor a passzív megfigyelés helyett inkább az aktív kísérletezést művelik majd, s a matematika válik a természettudomány nyelvévé.) Alapvető szerepet tulajdonít viszont az *okok* ismeretének. Oksági elméletében mindennek négyféle (anyagi, formai, ható és cél) okát különbözteti meg. Az okok és okozatok összefüggő rendszerének felderítésével érthető meg rendezett, strukturált, de változékony világunk.

4. A görög gondolkodás- és tudománytörténet korszakolása

a) A görög gondolkodás- és tudománytörténet fő korszakai

A tágabb értelemben vett görög tudomány történetét három nagy korszakra oszthatjuk föl: *a klasszikus görögség korszakára*, mely a kisázsiai és dél-itáliai filozófusok megjelenésétől egészen Arisztotelészig terjed; *a hellenisztikus korra*, melyeket Nagy Sándor birodalmának utódállamai fémjeleznek; *s a római korszakra*, hiszen a Római Birodalom is a görög-antik világ örököse. Mivel a természettudomány vonatkozásában ez az utóbbi korszak lényegében csak a megőrzés és a továbbhagyományozódás funkcióját látta el, a természettudományok története szempontjából – szemben a jogtudományok történetével – a másik kettőhöz képest jóval kisebb jelentőségű.

Maga a klasszikus korszak a filozófia kialakulásával együtt egyben a filozófiához szorosan kapcsolódó, s általa dominált természettudomány megszületésének időszaka is, míg *a hellenisztikus korszak a filozófiai motivációit továbbra is megőrző, ám a filozófiával szemben mindinkább önállósuló, immáron „szaktudománnyá” váló természettudományos diszciplínák nagy beérésének időszaka, s mint ilyen, a klasszikus korszak természettudományos fejlődésének a betetőzése.*

A klasszikus korszak gondolkodástörténeti szempontból legjellegzetesebb fölosztásaként a filozófiatörténetben szokásos *a Szókratész előtti és a Szókratész utáni korszak* megkülönböztetése. Mivel kezdetben a természettudományos és matematikai kérdésföltevések, valamint az ezekre adott válaszok részben a filozófiába ágyazva, részben hozzá szorosan kapcsolódva születtek meg, e fölosztás jogosult a természettudomány – és a matematika – területén is.

Milyen vonások alapján különböztethetjük meg egymástól a Szókratész előtti és a Szókratész utáni filozófiát és természettudományt?

E korszakok filozófiatörténeti szembeállítását *két mozzanaton* alapul. Az *egyik* a filozófiai érdeklődés tárgyának megváltozása. Míg az első görög filozófusok „fizikusok” – azaz akkori görög értelmében használva ezt a szót, természetbölcselek – voltak, s csak követőik révén, később kapták a „filozófus” elnevezést, Szókratész és az őt követő bölcselek érdeklődése az ember és közössége, a polisz felé fordul (Szókratész., Platón, Arisztotelész). Ez a fordulat minden bizonnyal számos tényezővel függött össze, ám az egyik meghatározó tényező ezek közül mindenképpen a görög társadalmi viszonyok, a görög élet megváltozása volt. A természetbölcselek a görög poliszok fölfelé ívelő, gazdaságilag és kulturálisan expanzív időszakában működtek, alkotásaik a világ felé magabiztosan és optimizmussal forduló ember alkotásai. A Szókratész utáni időszakot viszont már az ókori görög demokrácia, az ókori görög polisz – s elsősorban a centrumot jelentő Athén – válsága jellemzi: a legendás harmóniájában már sérült, ám az azt még ismerő, reá még emlékező, s azt helyreállítani vagy újból meglelni igyekvő görög ember korszaka ez.

A *másik* fontos jellemző, melynek alapján a Szókratész előtti és utáni filozófiát meg szokták különböztetni egymástól, a világkép antropomorf jellegével kapcsolatos. Bár a korai természetbölcseleknél is jelen vannak kifinomult antropomorf mozzanatok, ők ennek ellenére a

személytelen, a tudatos, akaratlagos célirányultságot nélkülöző kozmikus elvek és folyamatok (*aperion, levegő, hideg-meleg, sűrűsödés-ritkulás stb., az elvont, személytelen gyűlölet és szeretet, mint kozmikus elv*) által uralt – s ebben az érelemben „vak” – kozmosz monista eszméjének jegyében értelmezték a világot. A második időszak gondolkodói megtörték ezt a tendenciát, s filozófiájukban a racionális elemek megőrzésével egyidejűleg határozott szerepet kapnak az antropomorf elemek. Ennek nyomán a Szókratész utáni gondolkodókat illetően a világ újramitizálásáról szoktak beszélni.¹¹

Ez a szembeállítás azonban szerintünk, nem szabad eltúlozni. Leegyszerűsített kép volna a két nagy Szókratész utáni filozófus-személyiség, Platón és Arisztotelész természetképét egyoldalúan a természet újramitizálásával jellemezni. Az azonban vitathatatlan, hogy Platónnál és Arisztotelésznél elsődlegesek a kifejezetten célirányult tényezők, és a világtól elkülönül a kozmoszt uraló személyes jellegű – tisztán szellemi természetű – kozmikus értelem (az Istenség mint a világ alkotója vagy mint a mozdulatlan mozgató).

E fordulatban – hasonlóképpen, mint abban, hogy Szókratész után a görög filozófia az ember felé fordul – ugyancsak szerepet játszott a társadalom közérzetének az a megváltozása, melyet az imént „a görög harmónia megsérülése”-ként jellemeztünk. A harmónia utáni vágyak és az újbóli megelégedésre irányuló törekvésnek szerves része a kozmosz harmonikus voltába vetett meggyőződés, mely harmónia – különösen Platónnál – szemben áll a zavaros társadalmi viszonyokkal, s mintaszerű keretül szolgál az ember számára, melyen belül az emberi világ disszonáns szigetként tűnik föl. A személyes értelmet csak a személytelen kozmikus elveknek alárendelten és általuk létrehozottan magában foglaló kozmoszt pedig sokkal nehezebb racionálisként és harmonikusként megérteni, mint a kozmikus értelem által uraltat.

S e tekintetben igaz az újramitizálás is: a kozmikus értelem, illetve a célszerűen alkotó teremtő mintájául valóban a mitikus kozmológiák istenségei szolgálnak. Platón teremtője és Arisztotelész első mozgatója mint kozmikus értelem e régi mítoszok istenségeinek funkcióját veszi át, s ennyiben esetükben valóban a kozmosz újramitizálásáról beszélhetünk. Csakhogy ettől még e kozmológiák filozófiai kozmológiák maradnak, s nem válnak mitológiákká. Sőt, éppen ellenkezőleg: Platón és Arisztotelész kozmosza a racionálisan fölépülő világmindenség ideájának kiteljesedése, melyhez képest Anaximenész világot kormányzó „levegőjét”-t vagy Hérakleitosz tüzét és sejtelmes, homályos „logoszát”-t érezzük közelebbieknek a mítoszokhoz.

Véleményünk szerint azonban a Szókratész előtti és a Szókratész utáni filozófia különbözőségének előbb említett történelmi-kultúrtörténeti hátterén túl – azaz a „megsérült harmónia” helyreállítása utáni vágyon túl, mely az arisztokrácia esetében a nép, a „démosz” uralmától való félelmet is magában foglalta – mélyebb szellemi és antropológiai tényezők is szerepet játszottak e filozófiai fordulatban. A személytelen, vak kozmosz ideájának visszahatásaként előbb vagy utóbb szükségképpen – most már racionális, filozófiai formában – újból meg kellett jelennie a személyes értelem és a célirányultság által dominált kozmosz eszméjének is. Mert ha a személytelen elvek és a célokságot nélkülöző örök törvények szerint működő öntevékeny kozmosz ideája a világot átláthatóan, megérthetően, s talán megnyugtató módon is rajzolhatja ki elénk, mindezzel együtt legvégső kérdéseink, legalapvetőbb kozmológiai motivációink szempontjából mégsem old meg semmit: mindig marad benne valami titokzatos, valami nyugtalanító. Wittgenstein kifejező szavaival: „Nem az a misztikum, hogy *milyen* a világ,

¹¹ Markánsan képviseli ezt az álláspontot pl. John D. Bernal: *Tudomány és történelem* című művében (Gondolat, Budapest, 1963). Vö.: 121–134. o.

hanem az hogy *van*".¹² Minél régebben uralkodik a személytelen kozmosz ezen ideája, annál nyilvánvalóbbá válik e nyugtalanító mozzanat, hogy azután előtérbe kerüljön a személyes jellegű kozmikus értelem által dominált kozmosz képe, mely elismeri ezt az eredendő misztikumot, s nem próbálja azt látszólag mindenre kiterjedő magyarázataival eltüntetni.

A világ most tárgyalt misztikus mozzanata látszatra az emberen kívüli realitás tulajdonsága, valójában azonban azon antropológiai sajátosságunk következménye, melyet a bevezetésben az ember véges-végtelen természeteként jelöltünk meg. Az ember, amikor kozmológiát alkot, a végtelenhez viszonyul, s ezzel túllép alapvető végességén. Végessége azonban továbbra is megmarad meghatározó tulajdonságaként, így a vele szembenálló s a „hozzá képest végtelen”-t megtestesítő kozmikus rend sosem válhat számára valóban érthetővé és átláthatóvá. Még ha természettudományos értelemben mindent tudnánk is róla, ha a tudomány teljesen és hiánytalanul elénk rajzolná is a kozmoszt, s benne mindent kiszámíthatóvá tenne, véges természetünkől következőleg mindig maradna abban valami titokzatos. Így például azt a kérdést, hogy miért pont azok a törvények szerint épül föl, melyeket a fizika föltár számunkra, vagy hogy miért működnek benne egyáltalában törvények, továbbra sem tudnánk megmagyarázni valamely kozmikus értelem föltételezése nélkül. S bár az ilyen értelem segítségével az evilági törvények magyarázatot nyerhetnek, a világ létezésével kapcsolatos eredendő titok ekkor sem fog eltűnni a számunkra, hiszen a titok ehhez a misztikus kozmikus értelemhez fog kapcsolódni.

Magunkban hordozzuk a végtelent, ezért van kozmológiánk, ezért törekszünk a világmindenség megértésére, ám természetünk alapvetően mégiscsak véges, s így a kozmosz örökre titokzatos marad a számunkra. S ezért a gondolkodástörténeti oszcilláció az értelmes és a vak kozmosz egymással ellentétes eszméje között.

b) A tudományos szakterületek kialakulása

Arisztotelész, a Szókratész utáni korszak nagy filozófusa, különbséget tesz *elméleti, gyakorlati és produktív* tudományok között. Mindegyik változat a tudásra törekszik, de míg az elméleti tudomány magának a tudásnak a kedvéért teszi ezt, addig a gyakorlati tudományoknak a politikai életben való hasznosulás a célja, a produktív tudományok pedig hasznos és szép dolgok előállításában segítenek. Elméleti tudomány a teológia (vagy metafizika – ma inkább filozófiának mondanánk), a fizika (vagy természetfilozófia) és a matematika. Arisztotelész ebben az osztályozásban részben a tudás társadalmi beágyazottságából, illetve az adott tudomány által vizsgált tárgy sajátos természetéből indult ki. Figyelemre méltó tény, hogy Arisztotelész tevékenységével egy időben – s attól egyáltalán nem függetlenül, részben Arisztotelész közvetlen hatásaként – a korábban a filozófiában koncentrálódó tudás egésze fokozatosan szétesztődik, s kialakulnak elkülönült *tudományos szakterületek, részterületek, diszciplínák*. Arisztotelész korában, az i. e. IV. században ilyen tendenciákat figyelhetünk meg a matematika (a geometria és aritmetika), a csillagászat, a fizika (a mechanika és statika), az orvoslás (valamint az állattan) esetében is.

Az ún. szaktudományok kialakulása, a *tudás diszciplinárizálódása* alapvetően megváltoztatta a filozófia és a tudás viszonyát is. A kialakuló résztudományok átvették ugyan a filozófiában kidolgozott tudományos eljárásokat és módszereket, de azáltal, hogy tárgyük immár nem a világ egésze, a figyelembe vett tapasztalatok köre nem az összes emberi tapasztalat volt, hanem saját, jól kiválasztott, a többi tárgytól jól elkülönülő tárgy és tapasztalati kör lett, sajátos, csak rájuk

¹² *Logikai-filozófiai értekezés* 6.44.

jellemző módszerekkel is kiegészítették módszertani készletüket. A szaktudományok megjelenésével a filozófia az összes tudás letéteményese helyett a tudás egyik változatává transzformálódott, azzá a változattá, amelyik a részismeretek helyett az összes ismeretre koncentrál, és a tudásterületek közötti összefüggéseket, kapcsolatokat is elemzi. Maga Arisztotelész így ír erről a különbségről:

„[a filozófia] ... a létezőt, mint létezőt vizsgálja és vele mindazt, ami a létezőt önmagában és önmagáért megilleti. Ez egyetlen részleteket vizsgáló ún. szaktudománnyal sem azonos. Mert egyetlen szaktudomány sem vizsgálja a létezőt általában mint létezőt, hanem kiszakítja a létező egy részét és az ezt illető járulékos tulajdonságokat kutatja. Így tesznek pl. a matematikai tudományok.”¹³

Arisztotelész korától kezdődően tehát a tudásterületek közötti sajátos feladat- és munkamegosztásról beszélhetünk. Megjegyeznénk, hogy ez a változás természetesen nem független a társadalom egyéb szféráiban megfigyelhető, hasonló tendenciájú strukturálódási folyamatoktól.

Lényegében ebben az időszakban jöttek létre a filozófia és a kialakuló szaktudományok tanulmányozását és művelését szolgáló első *intézmények* is. Az antik görög társadalom nevelési gyakorlata szerint sok gyerek kaphatott elemi szintű képzést az olvasásban, írásban számolásban, énekben, zenében és testgyakorlásban.¹⁴ Ámbár a magasabb szintű, sajátos „szakmai” képzést nyújtó intézmények sokáig hiányoztak. De az i. e. IV. századi Athénben három eltérő profilú világi jellegű (úgy is mondhatnánk: nyilvános) iskola is működik már. *Iszokratész* retorikai orientációjú iskolája elsősorban a szónoki képességek fejlesztését segítette elő. Gyakorlatias képzést nyújtott, főként a retorika és filozófia tanításával. *Platón* Akadémiája ezzel szemben az elméleti képzés centrumaként működött: filozófiai és geometriai stúdiumok révén segítette elő az örök igazságok megértését. *Arisztotelész* Lükéionjában a kifinomult platóni gondolkodás és az alapos orvosi megfigyelési módszerek egyaránt otthonra találtak. Itt módszeres kutatások is folytak, felhasználva az iskola jelentős könyvtárát és gyűjteményeit. Az ókor legnagyobb tudományos intézménye az i. e. III. században Alexandriában létesített *Múzeum és könyvtár* Arisztotelész iskolájának mintájára szerveződött s vált az európai tudományos fejlődést meghatározó szellemi központtá.

Ezen a ponton szeretnénk felhívni a figyelmet egy gyakran homályban maradó összefüggésre: ugyancsak az i. e. IV. századtól, Platón munkásságától kezdődően a kultúra közvetítésének és átadásának módszerei jelentősen megváltoztak a görögök világában. Erre az időszakra esik az eltávolodás a szóbeliség kultúrájától, s előtérbe kerül az írott, rögzített tudás. (Persze korábban is és más kultúrák is használták az írást, de ritkábban és általában másként. Korábban az írás ui. elsősorban adminisztratív és üzleti célokat szolgált.) A tudományos tevékenység gyakorlatában ettől kezdődően jelentős részben különféle írott szövegek előállítását és tanulmányozását követelik meg. Ez a változás tükröződik már Platón munkáinak stílusában és szerkezetében is. Párbeszédet *írt* le, s ezzel mintha valamiféle határvonalon állna: egyszerre alkalmazta a

¹³ Arisztotelész: *Metafizika* (Hatágú síp alapítvány, Budapest, 1992), 94. o.

¹⁴ Mészáros I., Németh A., Pukánszky B.: *Bevezetés a pedagógia és az iskoláztatás történetébe* (Osiris, Budapest, 1999).

szóbeliség és az írásbeliség metodológiáit. Az írásbeliség logikája rögzített, lineáris szerkesztési elveivel évezredes léptékben válik világlátásunkat meghatározó tényezővé – egészen napjainkig.

c) A klasszikus görög korszak tudománytörténetének finomabb korszakolása

A klasszikus görög kor filozófiájának és tudománytörténetének előbb tárgyalt korszakain túl további differenciák is megállapíthatóak. Így – az időbeli párhuzamosság ellenére – megkülönböztetendő a milétoszi természetbölcselek és a püthagoreusok tevékenysége: míg az előbbiektől a személytelen elvek által uralt kozmosz eszméje származik, az utóbbiak – talán a milétoszi Anaximandrosz által is inspirálva – a világ számok és a számok közötti arányok által jellemzett kozmikus harmóniájának, azaz a „matematikailag szerkesztett” kozmosz eszméjének képviselői. Szemben a milétosziakkal, akik elsősorban természetbölcseleti, „kozmológusi” attitűdökkel hatottak a tudományok fejlődésére, a püthagoreus világfelfogás konkrét matematikai, geometriai és matematikai-csillagászati vizsgálódásokra ösztönzött, s így ezen diszciplínák kibontakozását és önállósulását motiválta. Időrendileg pedig megkülönböztetendő a korai preszokratikus szakasz, melyet az első püthagoreusok és a milétoszi természetbölcselek jellemeztek, s a preszokratikus természetbölcseleti-kozmológiai gondolkodás érettebb szakasza, melyhez az eleai iskola, Empedoklész, az atomisták és Anaxagorasz neve kapcsolódik.

Az utóbbi, az érett korszak legszembetűnőbb jellegzetessége, hogy megfogalmazódik benne az érzéki megismerés és az értelmi belátás egymáshoz való viszonyának problematikussága, s ennek során az érzéki tapasztalattal szemben egyértelműen az értelmi oldalra tevődik a hangsúly. E problematikát hangsúlyozottan az eleai Parmenidész vetette föl, s az ezzel kapcsolatos görög beállítódást igen szuggesztív módon fejezi ki az az anekdota, mely a mozgásparadoxonok kapcsán a később élt cinikus Diogenészhez kötődik. E paradoxonok – melyeket eleai Zénón paradoxonaként ismerünk – abból fakadnak, hogy a mozgás fogalmának elemzése során elkerülhetetlenül ellentmondásokat kapunk. Parmenidész tanítványai ennek nyomán arra következtettek, hogy a mozgásnak magának nem tulajdoníthatunk realitást. Az anekdota szerint, mikor Diogenész egyik tanítványa e következtetés ellen érvelve föl-alá járkált, hogy ily módon szemléltesse igazát, mestere botjával elverte őt.

Diogenész ezzel az anekdotikus cselekedetével a csalóka érzékekre hivatkozó, az értelemmel szemben az érzékek prioritását valló szemléletmódot büntette meg, mintegy botjával nyomatékosítva: az értelmet nem lehet az alacsonyabb rendű érzékekre hivatkozva „megszentségteleníteni”.

Diogenész ezen attitűdje jellemző eleme a görög gondolkodásnak: ott, ahol az érzékek és az értelem között konfliktus jön létre, értelmünket kell követnünk.

Az érzéki tapasztalat és az értelem viszonyának e problematikája ösztönzőleg hatott a matematikára, a geometriára, a mozgás és az idő természetével kapcsolatos megfontolásokra, s különösen a logika és a vitatkozás művészeteként jellemzett dialektika fejlődésére. Ugyancsak a logika és a dialektika fejlődését ösztönözte a preszokratikus filozófia harmadik, athéni szakasza, melyet a szofisták tevékenysége jellemezett.

A Szókratész utáni korszak a természettudomány szempontjából is a két filozófus-óriás, Platón és Arisztotelész működése alapján szakaszolható. Az etika és a polisz felé való fordulás ugyanis nem volt egysíkú: mint láthattuk, a „megsérült harmónia” visszaállításának programjában jelentős szerepet kapott a kozmológia. Magánál Platónnál az értelem és az érzéki tapasztalat viszonyának kérdésköre középponti helyet foglal el, s ennek kozmológiai dimenziója szorosan összefügg a harmonikus kozmosz platóni ideájával. Platón ennek kapcsán megfogalmazódó csillagászati

programja pedig egészen Newtonig mérvadóvá válik. De közvetve a mai „kemény” természettudomány – elsősorban a matematikai fizika – is e program nyomán alakult ki, s bizonyos értelemben ma is e program szerint dolgozik: a látszatra véletlenek által jellemzett, esetleges, pontatlan, csak közelítőleges szabályszerűségeket mutató tapasztalati világ mögött olyan állandó, szükségszerű struktúrákat keres, melyek pontos matematikai szabályok, függvények, egyenletek által írhatóak le. (Ez még a modern kvantummechanikában is így van: a kvantummechanika statisztikusságát, a kvantummechanikai véletlent is szigorú, állandó, s szükségszerű matematikai összefüggések jellemzik.)

Arisztotelész minden eltérés ellenére csillagászati-kozmológiai koncepciójában alapvetően Platón követi, viszont a földi – azaz a „Hold alatti” – régió viszonylatában egyértelműen nagyobb jelentőséget tulajdonított a tapasztalati megismerésnek, mint Platón. Ennek megfelelően univerzális igényű életművében ő maga is behatóan foglalkozik a tapasztalati világgal, s így a matematikai csillagászat mellett ösztönzőleg hatott az empirikus tudományok fejlődésére is. Szintén fontos szerepet játszott az empirikus kutatásokban, illetve az empirikus tudományok fejlődésében az arisztotelészi logika, hiszen a nem és a faj fogalmának kidolgozásával ez teremtette meg a rendszertan fogalmi alapjait.

Arisztotelész számos műve diszciplináris jellegű. Ez is azt mutatja, hogy az ő korában már a megismerés szakágai előrehaladtak a szétválásban és az önállósulásban. Mivel Arisztotelész maga is követte ezt a diszciplináris tagolódást, tekintélyével ösztönözte a folyamatot. *Az Arisztotelészt követő hellenisztikus tudományt már az egymástól elkülönült, s a filozófiáról is levált szaktudományok jellemzik, e formában születnek meg azok az ókori görög tudománytörténetet beteljesítő nagy művek, melyek az olyan kiemelkedő egyéniségekhez kapcsolódnak, mint Eukleidész, Arkhimédész vagy Ptolemaiosz.*

B) A görög matematika fejlődése

Kiss Olga

Ha tudományról van szó, természetesnek vesszük, hogy meg tudjuk különböztetni azt, amit ténylegesen tudunk, attól, amit nem tudunk biztosan, mondjuk csak hallomásból, mások véleményét elfogadva tudni vélünk. Hogy a tudás szerkezete nem ilyen egyszerű, a XX. századi filozófia eredményeit ismerve nyilvánvalóvá válhat. Fogadjuk mégis el átmenetileg ezt a megkülönböztetést, és próbáljuk behatárolni, *mit tudunk* az antik tudományról.

A rendelkezésünkre álló szövegeket a szakirodalom primer (azaz elsődleges), szekunder (másodlagos), terciér, ... forrásokra osztja. Primer források maguk a matematikai szövegek: agyagtáblák, papiruszok, könyvek számítási eljárásokkal, ábrákkal, tételekkel, bizonyításokkal. Ezekből nagyon kevés élte túl a születése óta eltelt 2–4 ezer évet. Ha mai szemmel olvassuk őket, ezek egy része nem is „igazi” matematikai szöveg: inkább a gazdaság vezetésével, a kereskedelemmel vagy éppen az építkezésekkel kapcsolatos, matematikai műveletekkel operáló iratok, melyek így csupán közvetve utalnak annak a jelenlétére, amit ma matematikának nevezünk.

Szekunder forrásaink történészek, filozófusok, komédiaírók sokszor csupán a hagyományra hagyatkozó nézetei. Egy részükből pontosan rekonstruálható a matematikai tudás, melyről szólnak (Pl. Platón: *Menón* című dialógusa), míg mások abból, amit ma matematikai tudásnak tartunk, teljesen külsődleges dolgokat emelnek ki.

Az egykorú matematikatörténet nagyjából a hagyomány felelevenítését és továbbadását jelentette. A legrégebbi matematikatörténet („aritmetikatörténet” – mások szerint geometriatörténet), amiről tudunk, Eudémosztól származik, aki Arisztotelész kortársa volt, ám ez a szöveg elveszett. Proklosztól (Eukleidész műveinek első kommentátorától) tudunk arról, hogy egyáltalán létezett, s Proklosz átvesz tőle néhány gondolatot, ami így a hagyomány révén mégiscsak átszűrődött. A múlt század közepén kezdődött kritikai forráskutatással vette kezdetét az a fajta matematikatörténet-írás, mely megpróbálta elkülöníteni az adatokat a később rájuk rakódott feltételezésektől, értelmezésektől és félreértésektől.

A történetírás történetének természetesen ma sincs vége. Így egyetlen történet sem végleges, megfellebbezhetetlen igazságok tárháza. A matematika fejlődésével új összefüggések válhatnak felismerhetővé és fontossá. Különböző matematikatörténetek más összefüggéseket emelnek ki, eltérően súlyoznak, sőt, olykor a forrásokat is másképp értelmezik. Az egyes tudománytörténészek nem ugyanúgy látják ugyanazt a történetet, vitatkoznak egymással, így az olvasó olykor zavarba jön, mit is gondoljon, kinek is adjon igazat. Ne vessük azonban ezt a szemükre. Végző soron minden jó történész új szemponttal gazdagítja történeti tudásunkat, mely éppúgy kimeríthetetlen, mint a jelenről való tudásunk. Vita nélkül nem láthatnánk egymáshoz való viszonyaikat. A dialógus segítségével árnyaltabbá, mélyebbé válhatnak ismereteink egy olyan területen is, ahol nem egyértelműek az igenek és a nemek. (Persze csak akkor, ha hagyjuk, és nem úgy tekintünk rájuk, mint egymást kizáró, egymást megsemmisítő, egymás hitelességét aláásó, vagy épp egymást értelmetlenné tevő elméletekre.)

Nem tudja, mi a tudománytörténet, aki csak egyfélélt ismer. Aki valóban jó rálátást szeretne szerezni a matematika történetére, annak semmiképpen sem elég egy szempontból, egy szerző tollából megismerkedni vele. A jelen könyvben szereplő néhány rövid fejezet nyilvánvalóan töredékét sem lehet képes átfogni egy több mint négyezer éves, sok ágon futó történetnek.

Bevezetés a matematika történetébe így egyrészt azt célozza, hogy vázlatos áttekintést adjon a matematika paradigmáiról, paradigmaváltásairól, felmutassa a maitól és egymástól is eltérő gondolkodási és érvelésmódokat. Ugyanakkor világossá szeretném tenni a matematikatörténeti tudás természetét is. Így hangsúlyosan kerülnek elő a történetírás forrásai – a szövegek, régészeti leletek, tárgyi emlékek – és a jelen és múlt közötti történeti távolság is. E távolság figyelmen kívül hagyása a matematika iránti érdeklődéssel indokolható, ám egyben a történelem félreértéséhez is vezet. A jelen matematikája mindig képes arra, hogy új fényt vessen a történetre, új összefüggésekre tegye érzékennyé a figyelmünket, a történetírásban azonban ennek együtt kell járnia a kritikus forráskutatással és a múlt filológiai igényű szövegismeretével. Eme két horizont együtt teszi a történetet, ami így szükségképpen a tudás fejlődésével maga is változik. Ezután már nyugodt szívvel merülhetünk el annak taglalásába, ami a múltból mai szemmel is érvényesnek és maradandónak tűnik, vállalva értékelésünk történetiségét és kultúrához kötöttségét.

1. A görögök előtti matematika

Bár ma természetesnek vesszük, hogy a matematikában vannak tételek és bizonyítások, e tudomány mégsem így született. Maga a bizonyítás, annak felismerése, hogy egyáltalán elméleti bizonyításra szorulhatnak a matematikai összefüggések, úgy tűnik a görög kultúra kizárólagos teljesítménye.

Milyen volt a görögök előtt a matematika? Mi az, amihez képest e számunkra triviális dolgok akkora újdonságot jelentettek? Nézzünk néhány forrást!

A Rhind-papirusz számítási eljárásokat tartalmaz olyan feladatokra, mint:

„Töltést kell készíteni, 730 könyök hosszút és 55 könyök széleset, amely 1230 rekeszből áll, s náddal és gerendákkal van lefedve; felül 60 könyök magas, közepén 30 könyök ... A tábornokoktól érdeklődnek, hogy mennyi téglát kell ehhez, és valamennyi írnok összegyűlik, és egy sem tud semmit, mind benned bíznak, és így szólnak: te nagy tudású írnok vagy, barátom; oldd meg ezt nekünk hamar. Lásd, a te híred nagy ...”

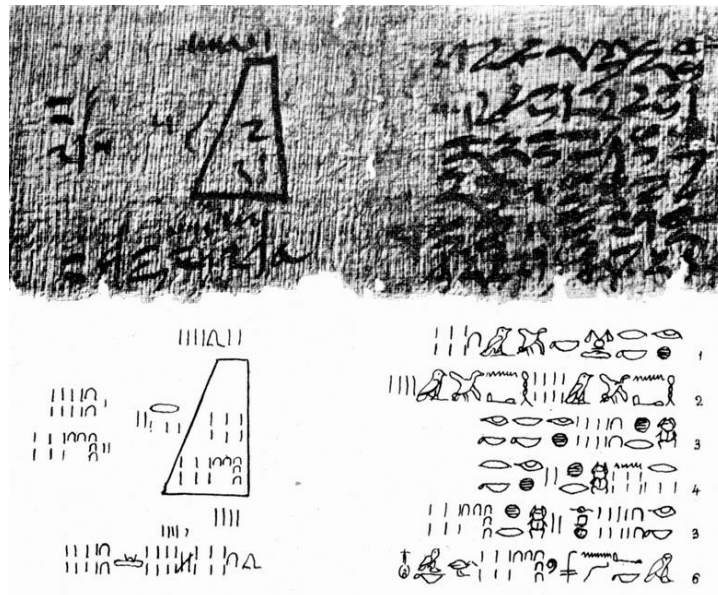
(Számítási eljárásokról már szoltunk az előző részben.)

Vagy vegyünk egy *feladatot a moszkvai papiruszról* (ez hasonló korú és tartalmú, mint a Rhind-papirusz):

„Minta kosár kiszámítására, ha olyan kosarat mondanak neked, melynek nyílása egészében 4 és fél. Oh, add tudtomra a felszínét! ...”¹⁵

A *megoldás* így hangzik a szöveg alapján:

„... Számítsd ki a 9-nek a kilenced részét, mert hiszen a kosár egy tojás fele, 1-et kapsz. Számítsd ki a maradékot, az 8. Számítsd ki a 8-nak a kilenced részét, kétharmad meg egy hatod meg egy tizennyolcadot kapsz. Számolj 7 meg egykilencedesével négy és félszer! 32-t kapsz. Látod, ez a felülete. Jól számítottad ki!”¹⁶



A moszkvai papirusztekercs egy részlete

A tudománytörténészek számára komoly kihívást jelent e szövegek értelmezése. A szabály ugyanis világos, csak ebben az esetben például az nem, hogy egy félgömb, egy henger vagy egy kupola kiszámítására vonatkozik-e. A különböző értelmezési lehetőségek különböző tézisekhez

¹⁵ Idézi B. L. van der Waerden: *Egy tudomány ébredése* (Gondolat, Budapest, 1977), 54. o.

¹⁶ Uo. 56. o.

vezethetnek az egyiptomi matematika fejlettségét illetően. A történetírás tehát a már ismert szövegekben is új meg új lehetőségeket fedezhet fel a történeti összefüggések megragadására.

Ami azonban mindezen értelmezésektől függetlenül is világos, hogy alapvetően *gyakorlati feladatokkal találkozunk, melyekhez megoldási mintákat kapunk*. Szabályokat, melyeket követhetünk. Hasonló helyzetben tudhatjuk, hogy hasonlóan kell eljárunk.

Az *óbabiloni* matematikai tartalmú (i. e. 1800–1600) *agyagtáblák* különböző számításokat tartalmaznak, illetve ezekhez nyújtanak segítséget. Ez utóbbiak részben szorzótáblák, reciprok táblák (melyeket osztáshoz és feltehetőleg csillagászati számításokhoz használtak) és mértékszámítási táblázatok. (Az egész babiloni matematikára jellemző ez a táblázathasználati technika.) Számjelölésük hatvanados helyi értékes, ám mivel nem használtak nullát, a számok nagyságrendje csak a szövegkörnyezetből derül ki.

Találtak négyzetgyök- és köbgyöktáblákat is, melyek egyes történészek szerint egyfajta babiloni algebra jelenlétére utalnak, valamint feladatokat és megoldási mintákat tartalmazókat is. E feladatok az egyiptomihoz hasonlóan gyakorlati megfogalmazásúak (pl. kamatos kamat kiszámítása), ám a megoldásnál már *mintha mégsem csupán a konkrét gyakorlati eredmény volna a lényeges*.



Agyagtábla az óbabiloni korból

Otto Neugebauer, az egyik legnevesebb tudománytörténész szerint az óbabiloniak már nem csupán a hétköznapi, a kereskedelemben és államigazgatásban is jól használható feladatokkal foglalkoztak, hanem *a matematikát önmagáért művelték*. Egy jellemző példa a Hammurapi-dinasztia korából:

Feladat:

„Szélesség, hosszúság. A hosszúságot és a szélességet összeszoroztam, és így megkaptam a területet. Amennyivel pedig a hosszúság meghaladja a szélességet, azt hozzáadtam a területhez, és 3,3-at (183 hatvanas számrendszerben) kaptam. Hosszúság és szélesség összeadva pedig 27. Mi a hosszúság, szélesség és a terület?”¹⁷

Jól látható, hogy könnyedén összeadnak területeket hosszúságokkal. Más feladatokban pedig – például munkabérszámításnál – összeadásban, kivonásban, szorzásban ugyanígy vegyítették a munkások és a napok számát. Ugyanakkor fontosnak tartották a számítási eljárásokat teljes általánosságban bemutatni, így például az 1-gyel való szorzást is elvégezték, ha történetesen úgy alakultak a menet közbeni értékek. Ezek Neugebauer véleménye szerint arra utalnak, hogy számukra *csak az algebrai összefüggés volt lényeges*. Ugyanez lehetett szerinte az oka annak is, hogy a geometria az óbabiloni matematikában csekély szerepet játszott: „Matematikai jelentősége a számtani megoldás szabályainak van a ‘geometria’ csak egy a gyakorlati élet jelenségei közül, amelyre a számtani módszerek alkalmazhatók.”¹⁸

Ne feledjük el, hogy algebráról itt még csak némi anakronizmussal beszélhetünk. Az, hogy ma az algebra önálló kutatási terület, és az algebrai gondolkodás számunkra jelentéssel rendelkező fogalom, lehetővé teszi számunkra, hogy felfedezzük az ilyen típusú gondolkodásmódot ott is, ahol nem létezett még algebra (például a babiloni szövegekben). Ha tehát a babiloni algebráról hallunk, azt tekintjük annak ami: metaforának, mely rávilágít lényegre (vagy legalábbis arra, amit a történész annak tart), de ha szó szerint értjük, finoman szólva értelmét veszti (vagy mondhatnánk azt is: hamissá válik – az sem mindegy tehát, hogyan értjük az értelmezést).

Persze nem lehet úgy történelmet írni, hogy minden anakronizmustól mentesüljünk. Hiszen még azt sem mondhatnánk, hogy matematikáról van szó, ha a püthagoreusok előtti időkről beszélünk, hiszen ők voltak az elsők (pontosabban a püthagoreus Hippaszosz követői), akiket kortársaik ezzel a görög szóval illették: *mathématicosz*. A matematika ugyanis az ő *mathémata*, azaz tanulmányok kifejezésükből származik, s születése óta számos értelemváltozáson ment keresztül. Erre hamarosan visszatérünk.

De mi is az az új gondolati manőver, amiről itt beszélünk, s ami megkülönbözteti az antik görög matematikát minden elődjétől és minden kortársától, s ami kultúránk egyik alapköve lett?

2. A bizonyítás megjelenése a matematikában

Eddig mintha még nem került volna elő a bizonyítás problémája. Valóban, sem az egyiptomiak sem a babiloniak nem bizonyították az általuk bemutatott számítási szabályok helyességét. Egyszerűen megkaptuk a mintát, a megfelelő eljárást, és kész. Végül is mit kellene még külön bizonyítani, ha egyszer kiszámítottuk, és tényleg annyi téglát kellett a magtár építéséhez, ... azaz ha a gyakorlat folyamatosan igazolja ezeket az eljárásokat?

Tudomásunk szerint Thalész volt *az első, aki bizonyított* egyáltalán valamilyen matematikai összefüggést. Legalábbis a hagyomány – ha helyesen értjük az antik szerzők szavait – így tartja róla. Thalész elsőként nyerte el a görögöktől a *bölcs* nevet Ez azt jelenti, hogy nem pusztán

¹⁷ Idézi van der Waerden: *Egy tudomány ébredése*, 103. o.

¹⁸ Otto Neugebauer: *Egzakt tudományok az ókorban* (Gondolat, Budapest, 1984), 56. o.

matematikus, filozófus, csillagász, de kereskedő, spekuláns (nevezetes az olajhordó monopólium ötlete), hadimérnök (csatorna építésével a sereg elöl a sereg mögé vezette a folyót), politikai tanácsadó is volt, méghozzá mindezekben kiváló.

Eredeti forrás nem áll rendelkezésünkre. Azt sem tudjuk, hagyott-e hátra valamilyen írásművet, vagy csak feltételezték róla. Mindenesetre, noha a görögök szerették a magas kultúrával rendelkező egyiptomiaktól származtatni tudományukat, már a görög hagyomány is úgy tartotta, hogy a milétozi Thalész volt az első, aki matematikai összefüggéseket *bizonyított* (pl. a csúcscsögek egyenlőségét).

Diogenész Laertiosz például ezt írja Thalészról:

„... Pamphilész mondja róla, hogy a mértant Egyiptomban tanulta, és elsőnek rajzolt a körbe derékszögű háromszöget s {ezután az isteneknek} ökröt áldozott. Mások – mint például Apollodórosz, a számtantudós – azt állítják, hogy ez az eset Püthagorasszal történt.”¹⁹

Láthatjuk tehát, hogy az adatokat illetően már az antik hagyomány sem egységes. A körbe rajzolt derékszögű háromszög feltehetőleg a Thalész-tételre utal, de nem világos, hogy a tételre vagy a bizonyításra. Proklosz szerint – aki Thalész után majd egy évezreddel élt – „Thalész mutatta ki elsőnek, hogy az átmérő a kört két egyenlő részre osztja.” Ha helyesen értjük a kifejezést – s itt a mai történetírás közkeletű felfogására utalok –, ez úgy értendő: ő *mutatta meg*, ő *bizonyította be* először. Az pillanatnyilag szinte mellékes is, milyen tételről van szó. Igazán nagy hordereje a matematikatörténet szempontjából a bizonyítás tényének van.

A hagyomány szerint tehát Thalész, aki a görög bölcselet születésének legendás alakja volt, a matematika legfontosabb fordulataiban is döntő szerepet játszott. Hogy valóban Thalész volt-e az első, aki tényleg bizonyított, vagy csupán az antik hagyományt jellemzi, hogy szívesen tulajdonította jelentős felfedezéseit legendás alakoknak, azt nem tudjuk. Azt viszont igen, hogy a fordulat bekövetkezett.

A matematikatörténészek közül egy magyar klasszika-filológus, Szabó Árpád vetette fel a kérdést, hogy egyáltalán *honnan származhatott a bizonyítás igénye* a görög matematikában. Miért éppen náluk jelent meg ez a törekvés?

A legrégebbi – egyébként indirekt – bizonyítás történetesen egy filozófiai műből maradt ránk. Az eleai Parmenidész létezőről szóló tankölteménye arra szólít, hogy lépjünk túl az érzéki tapasztalat sokféleségén, és nézzük meg, milyen az, ami *e jelenségeken túl* létezik, milyen maga a létező. Ennek sajátosságait nyilvánvalóan nem ismerhetjük meg az érzéki tapasztalat segítségével. Csupán gondolkodás útján juthatunk oda, s itt lesz segítségünkre a *bizonyítás*, annak megmutatására, *milyen nem lehet* a létező. Ez az a gondolat, amelyből Szabó Árpád szerint a bizonyítás igénye fakad, hiszen a matematikai összefüggések sem csupán *az egyes konkrét számokra* vagy alakzatokra vonatkoznak, hanem *az összesre*, ami bizonyos tulajdonságoknak megfelel.

Ha elfogadjuk a filozófusok érvét, hogy amit néhány (vagy akár számos) konkrét esetben tapasztalunk, az nem feltétlenül egyetemesen érvényes, és *a tapasztalaton túli bizonyítéokra is szükség van*, ha az *igazságigényünkkel túllépünk a tapasztalaton*, akkor nem lesz már elég az, ami az egyiptomi és babiloni matematikában még elégnek tűnt. Már nem elég a szabály praktikus

¹⁹ Görög gondolkodók 1. köt., 6. o.

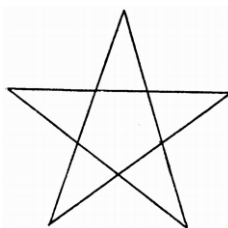
érvényessége, a kör területének és átmérőjének arányára már nem elég a közelítő érték. Hirtelen világossá válik, hogy a gyakorlati érvényesség relatív – csupán eddigi tapasztalataink körére terjed ki 1, és felmerül az igény egy szigorúbb követelményeknek megfelelő érvelésre.

3. A püthagoreus mathémata

A püthagoreusoktól primer forrásnak tekinthető szöveg egyáltalán nem maradt fenn, noha Arisztotelész szerint ők voltak az elsők, akik a tudományokkal foglalkoztak, és hatásuk az európai tudományok fejlődésére kiemelkedő jelentőségű. Ennek oka többek között az is, hogy Püthagorasz és követői titkos szektát alkottak: a tagoknak tilos volt kívülállóknak bármit is nyilatkozni tevékenységükről és nézeteikről. Püthagoraszt a világról vallott felfogása ennek ellenére az európai gondolkodás egyik legnagyobb hatású gondolkodójává tette.

Az, amit ők matematika címén kutattak, nem csupán matematikai összefüggéseket jelentett a szó mai értelmében. A püthagoreus mathémata (számelmélet, zeneelmélet, geometria és csillagászat) egyszerre jelentett vallási, zenei, filozófiai és matematikai tanulmányokat. A szekta életmódját, étkezési szokásait misztikus elvek hatották át: céljuk a zene művelésével, a harmóniák, a számok és arányaik megismerésével közelebb kerülni az istenihez. Az iskola szektajellegére jellemző, hogy a beavatás követelménye három évi hallgatás volt, s a tanítványok még ekkor is csak sűrű függöny mögül hallhatták a mester hangját.

Az istenhez való közelítés a világ törvényeinek megértéséhez, az igazság érzékcsalódástól, előítéletektől és egyéni vélekedésektől mentes szemléletéhez való felemelkedést jelentette. A püthagoreusok a törvényt (*logosz*) a számok arányaiban (*logosz*) keresték. Az általuk felállított aránypárok (*analógia*) a mai egyenletek első megjelenési formái. A püthagoreus misztikusokkal paradox módon egy olyan gondolat született meg, mely a modern tudománykép sarkköve lett: a matematika, a világ számszerűsíthető összefüggéseinek tanulmányozása bepillantást nyújt nekünk a természet titkaiba, s lehetővé teszi törvényeinek megismerését.



Pentagramma

A püthagoreusokról való tudásunk forrásai – mint említettük – tehát egyértelműen szekunder, terciar, sőt, még távolabbi szövegek. Több nemzedéken áthagyományozódva szükségképpen őrzik továbbadók stílusát is. Az ő gondolatrendszerükön átszűrve megváltozik az egyes gondolatok, tettek és szerzők jelentősége. Így egyes forrásokat (például Jamblikhoszt) a legtöbb matematikatörténész megbízhatatlannak tart, míg másokat átgondolt, megalapozott struktúrájuk és stílusuk hitelessé tesz az olvasó szemében (a püthagoreus matematika tekintetében ilyenek például Platón és Arisztotelész többnyire filozófiai szövegek környezetben előkerülő töredékes utalásai). Számos olyan zeneelméleti megfontolásra utalnak a szövegek, melyek a püthagoreusok nevéhez fűződnek. Eszerint összhangokkal kísérleteztek és arányokat próbáltak nekik megfeleltetni. Így az 1:2 az oktáv, a 2:3 a kvint és a 3:4 a kvart lenne. E megfeleltetést az antik kommentárok is többféleképpen értelmezték, például az ilyen hangtávot adó azonos átmérőjű

bronzkorongok vastagsága, a kalapácsok súlya vagy éppen a húrok hossza. (A kísérletek csak ez utóbbit támasztják alá.) Számos érdekes számelméleti fogalom (pl. barátságos számok: mindegyik egyenlő a másik valódi osztóinak összegével, tökéletes számok: azonosak saját valódi osztóik összegével, ...) és arányelméleti összefüggés is az ő nevükhöz fűződik. Így például a püthagoreusok jelképévé vált csillagötszög, melynek oldalai az aranymetszés arányában metszik egymást.

Hogy Püthagorasz bizonyította-e be a róla elnevezett tételt, az kérdéses. Mindenesetre az antik szerzők neki tulajdonítják a híres ábrát az átfogóra emelt négyzetről és a területillesztésről, mely a bizonyítás lényegét fejezi ki. Plutarkhosz idézi egy helyen:

„Püthagorasz rálelt híres ábrájára, s ajánlott érte az istennek dús ököráldozatot.”²⁰

A híradás értéke kissé kétes, mindenesetre jól érzékelteti a felfedezés jelentőségét, akárkié legyen is az érdem.

A forráskritika igyekszik lehántani a tényekről a hagyomány ráakódott rétegeit, s visszajutni az eredeti gondolatokhoz és tényekhez, amennyire ez lehetséges. Ezzel a technikával lett a Püthagoreus matematikáról való tudásunk egyik legfőbb forrásává az i. e. 300 körül keletkezett *Elemek*. A szöveg stílusrétegeinek elemzése alapján a filológusok archaikus stílusa és tartalma miatt püthagoreus tételsornak tekintik a IX. könyv 21–34. és 36. tételét, melyek páros és páratlan számok összegére, különbségére, szorzatára és ezek osztóira vonatkozó tételek. (Pl.

„21. tétel. Bárhány páros számot adunk össze, az összeg páros ...

22. tétel. Ha összeadunk valahány páratlan számot, melyek páros sokan vannak, akkor az összeg páros ...

29. tétel. Ha egy páratlan számmal megszorzunk egy páratlant, a szorzat páratlan lesz ...

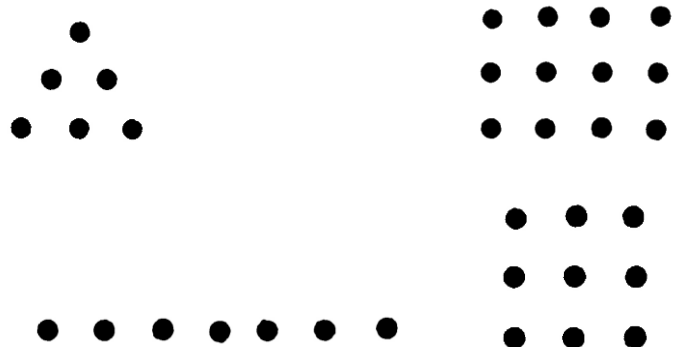
30. tétel: Ha egy páratlan szám oszt egy párosat, akkor a felét is osztja ...”²¹)

A régészek találtak görög számolótáblákat és ábrázolásokat arról, hogy e táblákon hogyan lehetett kis számolókövecskékkel számolni. A görögök ugyanis az egyiptomihoz és babilonihoz képest nehézkes, kezdetben a római számokhoz hasonló számírást használtak, majd az abc jeleinek megfeleltetett tízes alapú, de nem helyi értékes számjelekkel dolgoztak. Volt viszont egy eljárásuk, mellyel a fent említett számolótáblán kis kövecskékkel elvégezték a műveleteket, majd az eredményt leírták. E kis kövecskékkel reprezentálva a számokat különböző alakzatokba tudták rakni. Voltak háromszög-, téglalap- és négyzetszámaik, és voltak vonalszámok is, melyeket egyik alakzatba sem lehetett kirakni.

Példák háromszög-, téglalap-, vonal- és négyzetszámokra:

²⁰ Idézi van der Waerden: *Egy tudomány ébredése*, 166. o.

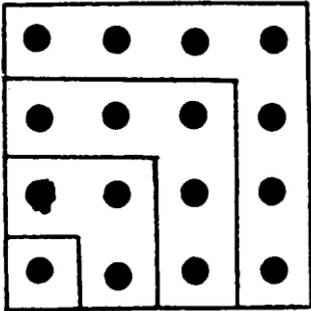
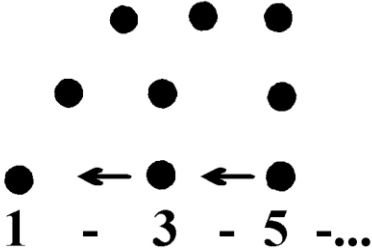
²¹ Euklidész: *Elemek* (Gondolat, Budapest, 1983), 271–275. o.



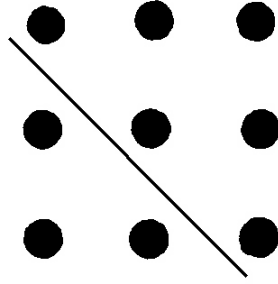
E kirakós játék gyermekdednek tűnhet, ám segítségével számos érdekes számelméleti tételt tudtak bizonyítani. Például, ha vesszük a páratlan számok összegét egytől, akkor ezek mindig négyzetszámot adnak. Vagy két egymás utáni háromszögszám összege mindig négyzetszám.

Egyszerű volna ezeket az összefüggéseket a mai matematika nyelvén megfogalmazva a rendelkezésünkre álló technikákkal – például képletek felhasználásával – bizonyítani. Ne feledjük el azonban, hogy ők nem a mi nyelvünkön és fogalomkészletünkkel gondolkodtak. Nem álltak rendelkezésükre képletek, melyek segítségével mi hajlamosak vagyunk átfogalmazni az összefüggéseket, hogy ellenőrizzük, tényleg igazak-e. Ahhoz, hogy megértsük, hogyan is gondolkodtak, meg kell próbálni az ő eszközeikkel bizonyítani az általuk felfedezett tételeket.

Vegyük az első összefüggést: a páratlan számokat biztos, hogy kirakhatjuk vonalszámokként, de kirakhatóak ún. gnómonként, derékszögben is. Ha így rakjuk egymás mellé őket, rögtön világossá válik az összefüggés:

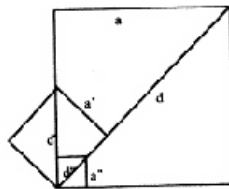


Hasonlóképpen teszi beláthatóvá a két egymás utáni háromszögszámra vonatkozó tételt, ha a már ismert alakzatokat kissé elforgatva így rakjuk őket össze:



a két egymás utáni háromszög szám összege valóban négyzetszám.

Ezekhez hasonlóan „korhú” bizonyításokat keresnek a történészek a püthagoreus matematika egyik legnagyobb felfedezésére, mely szerint a négyzet oldala és átlója összemérhetetlen. Mivel a rendelkezésünkre álló iratok utalnak arra, hogy a tételt ismerték, ugyanakkor maga a bizonyítás csak későbbi szerzők munkáiban maradt ránk, tág tere nyílik itt is a történeti rekonstrukciónak. Az egyik legkézenfekvőbb van der Waerden bizonyítása, aki a váltakozva kivonás módszerével mutatta meg, hogy az euklideszi algoritmus nem ér véget az átló és a négyzetoldal esetében, azaz nincs közös mértékük.



(A bizonyítás azon alapul, hogy ha felmérjük az átlóra a négyzet egyik csúcsából az oldalt, és e pontban merőlegest állítunk rá, akkor e merőleges pontosan akkora szakaszt vág le az oldalból, mint amekkora az átló és az oldal különbsége, amit majd fel kell mérnünk az oldalra.)

Az összemérhetetlenség felfedezése számunkra érdekes, de nem túl megrázó tény. A püthagoreusok azonban – mint már volt róla szó – világmagyarázatukban a számokból indultak ki. A szám itt azt jelenti: természetes szám. Amikor arányokkal (nem törtekkel!) dolgoztak, az is természetes számok arányait jelentette. Ha a világot akarjuk ezekkel megérteni, akkor az a tény, hogy van két nagyon is hétköznapi hosszúság – a négyzet oldala és átlója –, melyek aránya nem fejezhető ki természetes számok arányaként, azt jelenti, hogy a program keresztülvihetetlen. Nem a számelméleti, geometriai, zeneelméleti vagy csillagászati kutatások kudarcáról van szó, hanem az ezeket összetartó közös elv, a számarányokban való kifejezhetőség lehetetlenségéről (már ha az ember görög, és a számok számára a természetes számok).

4. Az athéni Akadémia

Mikor Platón a püthagoreus Arkhüasz révén megismerkedett a matematikával, új, nagyszerű korszak vette kezdetét. Platón „irányította és lelkesítette a tudományos munkát az Akadémián belül és kívül. A nagy matematikusok, Theaitetosz, Eudoxosz és mind a többiek, akiket Proklosz katalógusa felsorol, barátai voltak, tanítói a matematika és tanítványai a filozófia terén. Nagy tanítványa, Arisztotelész, Nagy Sándor nevelője húsz évet töltött az Akadémia csodálatos atmoszférájában.”²² – írja van der Waerden kitűnő matematikatörténetében.

²² Van der Waerden: *Egy tudomány ébredése*, 242. o.

Az eleai és püthagoreus filozófiai tradíció, valamint a matematika egymásra hatásáról már esett szó a bizonyítás igényének kialakulása kapcsán. A filozófia számos kitűnő gondolatot köszönhet Platón írásaiban a matematika jelenlétének. Platón matematika-felfogása pedig nagyban elősegítette e tudomány fejlődését az Akadémia keretei között.

A kapcsolat alapja az iskolaalapító ama meggyőződése volt, hogy a filozófiai (dialektikai) tanulmányok mellett a geometria az ifjak kiművelésére leginkább alkalmas tudomány. Jelentőségét az adja, hogy a gondolkodás megtisztításán keresztül hozzájárul ahhoz, hogy képessé váljunk az igazság megpillantására. Ez az igazság túl van mindazon, amit látunk, hallunk vagy tapasztalunk. Hasonlóan ahhoz, ahogy a geometriai tétel sem a látható háromszögekre vonatkozik. Bár a geométer a bizonyítás során a homokba rajzolt ábrán mutatja meg a tétel igazságát, a gondolatmenet követéséhez és a szituáció helyes megértéséhez el kell szakadni attól, amit látunk. Csak arra szabad figyelni, amire a kép utal, ám maga pusztán elgondolható, s az ábra ennek csupán gyenge érzéki mása.

Mindez mármost egy matematikus számára nem feltétlenül tűnik túl mély okoskodásnak. Valójában nem világos, miért is kellene külön foglalkozni ezzel a kérdéssel. Nos, a filozófia valóban többnyire csak a válságos időkben válik fontossá a tudósok számára. Az, amit tudományuk alapjainak tekintenek, ilyenkor szokott mélyen megkérdőjeleződni. A filozófiai okoskodások iránti érdeklődés és figyelem – mely egyes tudósok számára normál tudományos időszakban szinte érthetetlen – a válság idején átmenetileg nagyon is természetessé válik.

A püthagoreus program pedig éppen válságos időket élt át. Természetesen a négyzet oldalának és átlójának összemérhetetlenségére lehetett volna azt mondani, hogy kitűnő közelítő értékeket tudunk megadni. Csakhogy az antik görög fogalmi gondolkodás számára ez nem járható út. Tudjuk, nem a közelítő érték megadhatósága az elméletileg lényeges kérdés. Ennek megadása csak gyakorlati, technikai szempontból kielégítő, az *elméleti problémát* azonban nem oldja meg. Más lehetőség után kellett tehát nézni.

Az athéni akadémia matematikusainak eredményeit összefoglaló legnagyobb gyűjteménye az i. e. 300 körül Alexandriában geometriát tanító Eukleidész *Elemek* című könyve. Ha megvizsgáljuk ennek több száz tételét, kiderül, hogy közülük a legtöbb elemi geometriai, s csak a VII., VIII. és IX. könyv tartalmaz számelméletieket. Ráadásul, amikor Eukleidésznél számokkal találkozunk, akkor ő már nem kis kövecskékkel (vagy pontokkal), hanem hosszúságokkal ábrázolja őket (a formulák még ismeretlenek az antik matematikában). Az *Elemek* valójában nem is a matematika, hanem *a geometria elemei*. (Elemek – azaz a tovább már nem bontható összefüggések, melyekből az egész elméleti rendszer felépül.) Mint láttuk, már Platón is geometriáról beszél, amikor a matematikát az ifjak nevelésében kiemelkedő jelentőségűnek mutatja be. Amit mond, az igaz a püthagoreus matematika kavicsokat rakó bizonyításaira is, mégis csupán geometriát mond. Ezért néhány matematikatörténész úgy véli, hogy a matematika püthagoraszi programjának kudarcra *a matematika geometrizálásához* vezetett. Miért jelentett ez megoldást?

Az antik görögök számára a *szám* továbbra is a természetes szám, az *arányok* terén azonban lényeges újításokat vezethettek így be. A problémát okozó négyzetoldal és átló összemérhetetlenek ugyan *hosszúság szerint*, azonban *négyzet szerint* már összemérhetőek. Ezt a fogalmat a X. könyv definíciói közt találjuk:

„1. Mennyiségeket összemérhetőeknek mondunk, ha ugyanazon mértékkel mérhetőek, összemérhetetleneknek pedig, ha nem található hozzájuk közös mérték.

2. Szakaszok négyzetesen összemérhetők, ha a négyzeteik ugyanazon idommal mérhetők, összemérhetetlennek pedig, ha a négyzeteikhez nem található idom, mely közös mérték lenne.”

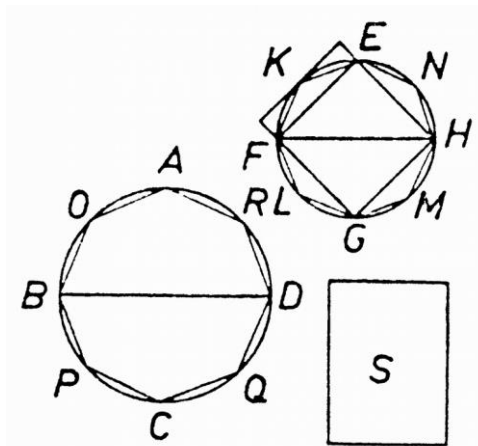
Ennek analógiájára vezették be a köb szerint összemérhető mennyiségeket is. (Erre Platón *Theaitetosz*ának utolsó mondata utal – s feltehetőleg Theaitetosz felfedezése e fogalom és néhány hozzá tartozó tétel az *Elemek* X. könyvének elejéről.) Így az, ami a püthagoreus matematika számára a legfontosabb problémát jelentette, új fogalmak és összefüggések forrásává vált. Így már semmiféle veszéllyel nem járt kimondani (*Elemek* X. könyv 115. tétel), hogy – a mi terminológiánkkal élve – végtelenül sok irracionális szám létezik.

Az akadémikusok által vizsgált, s az *Elemekben* is tárgyalt klasszikus *problémák* közé tartozik a kör négyyszögösítése. A szofista Antiphón azzal próbálkozott, hogy egy tetszőleges sokszöget ír a körbe, melynek azután az íveit megfeleztve, a beírt sokszögekkel közelítve végül megkapja a körívet. E gyakorlatilag pontos eljárást Arisztotelész épp azért bírálta, mert nem a geometria általánosan elismert alapelveiből indul ki. Nos, Eukleidésznél ez a probléma már az *Elemek* részeként szerepel. Feltehetőleg Eudoxosztól származik az eljárás, melyet a *kimerítés módszerének* neveztek. Alapgondolata hasonló a már említetthez: az egyre növekvő oldalszámú beírt és körülírt sokszögek területei közötti különbség egyre kisebb, ugyanakkor a kör területe mindig e két érték között van.

Erre alapozva a bizonyítást a XII. könyv 2. tétele így szól:

„A körök (területei) úgy aránylanak egymáshoz, mint az átmérőik négyzetei.”

Érdemes megfigyelni a bizonyítás szerkezetét. Pusztán a közelítéssel még nem vagyunk kész. Még majd kétezer év matematikai fejlődésére lesz szükség, hogy elegendő legyen annak kimutatása: a közrezáró értékek tetszőleges határnál kisebbé válnak. Eudoxosz indirekt módon mutatja meg, hogy a körök (területének) aránya sem kisebb, sem nagyobb nem lehet, mint az átmérőkre emelt négyzetek (területének) aránya. (A megoldás ötlete fontos szerepet fog játszani az analízis kialakulásában. Addig azonban még szükség lesz néhány új matematikai gondolatra és technikára, melyeket majd az arab matematika közvetít Európába.)



A kör négyyszögösítése a kimerítés módszerével

Egy másik jelentős *probléma* a kocka megkettőzése: azaz hogyan lehet adott kockához megszerkeszteni a kétszeres térfogatút. Ez ugye azért érdekes, mert a két kocka oldala hosszúság szerint összemérhetetlen, térfogat szerint azonban összemérhető. Eratoszthenész egy verse szerint Arkhüasz félhenger, Eudoxosz „hajlott vonalak” segítségével oldotta volna meg a problémát, Menaikhmosz pedig kúpok elmetszésével. A megoldás kúpszeletekkel valóban elérhető, és készítettek is kúpszelet-szerkesztő mechanikus eszközöket. A klasszikus görögök elméleti igényességére jellemző, hogy megoldásként természetesen itt sem elég a mechanikus szerkezet vagy a hajlott vonalzó megalkotása. Plutarkhosz idézi Platón, mint aki ilyen esetekben a matematikai szigor és az elvi alapokon álló megoldások támogatója. Szerinte az elméleti megoldásnak meg kell előznie vagy legalábbis meg kell alapoznia az eszköz alkalmazását. Az említett technikai megoldások azonban – ahogy Arisztotelész szól róluk – nem vezethetők le a geometria elveiből. Hogy miről van szó, azt meglátjuk, ha belelapozunk a már eddig is oly sokat idézett *Elemek*be.

5. Az első axiómarendszerek – az euklideszi Elemek

Ha van matematika-tankönyv, mely igazán nagy hatást gyakorolt az európai kultúra fejlődésére, akkor Eukleidész könyve a geometria elemeiről biztosan ilyen. Azt mondják, Biblia után ez a legtöbb kiadást megért könyv. Hatása nem csupán a matematikára terjed ki. Az újkori gondolkodók a gondolatok rendezésének eszményi formáját látták letisztult logikai rendszerében. Newton fizikája éppúgy, mint Spinoza Etikája, ugyanezt a mintát követi.

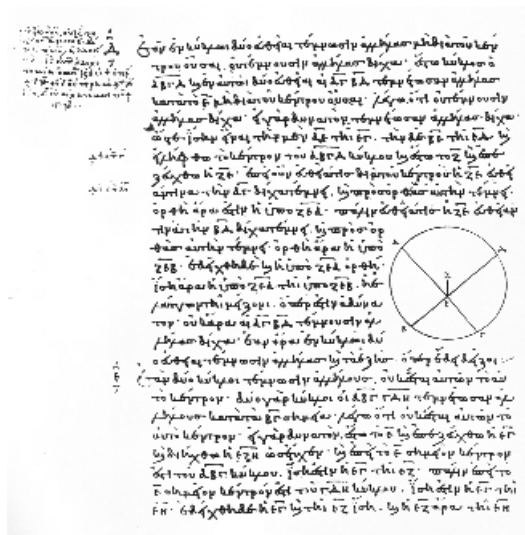
Eukleidész – bár ezt közvetlen adatok nem erősítik meg – a hagyomány szerint Alexandriában tanított, így személyében már a hellenisztikus matematikához tartozik. Valójában nem egymaga alkotta meg az *Elemeket*. Proklosztól tudjuk, hogy már Eukleidész előtt is voltak, akik *Elemeket*, azaz axiomatikus rendszereket állítottak össze. Feltehetőleg egy ilyenből származik például a már említett tétel sor a páros és páratlan számokról is. Ezek az axiómarendszerek sajátos – a maitól különböző – struktúrával rendelkeztek. Eukleidész tehát nem szerzője, hanem minden bizonnyal csupán összeállítója az *Elemeknek*, melyet viszonylag kevés saját tétellel egészített ki. Van der Waerden nem is azt a tiszta rendszerépítő logikát értékeli benne, amelyet az elmúlt századok oly nagyra tartottak (ez mai matematikus szemmel nézve már nem is olyan kristálytiszt), hanem inkább didaktikai érdemeit emeli ki, mondván, feltehetőleg oktatási célból rakta össze e különböző rendszereket.

Nézzük meg tehát közelebbről a szöveget!

Axiomatizálásról szólván Proklosz (Eukleidész első kommentátora) szerint

„... annak, aki elemeket állít össze, külön kell tárgyalnia a tudomány princípiumait (az elveket), és külön azokat a dolgokat, amelyeket az előbbiekből vezet le. A princípiumokról nem kell számot adnia (ezeket nem kell bebizonyítania). De feltétlenül be kell bizonyítania mindazt, amit a princípiumokból következtet ...”²³

²³ Idézi Szabó Árpád: „Előszó”. *Elemek*, 12. o.



Az Elemek egy lapja oldalán kommentárral

Ugyanis ha már bizonyítunk, akkor szükség van olyan állításokra, melyekre a bizonyítás során hivatkozhatunk. És ezeket ismét más tételekre hivatkozva tudjuk csak igazolni, és így tovább. Tehát a bizonyításokban fellépő végtelen regresszust valahol meg kell állítani. Az a pont, ahol megállunk, adja az elveket. Arisztotelész az Analitikában hosszan taglalja, milyenek kell lennie azoknak az állításoknak, melyeket elvként elfogadhatunk.

Az elvek három csoportra bomlanak: definíciók, posztulátumok és axiómák.

Az első könyv definíciókkal kezdődik. Ezek ilyenek:

- „1. Pont az, aminek nincs része.
- 2. A vonal szélesség nélküli hosszúság. ...
- 10. Ha valamely egyenesre egyenest állítunk úgy, hogy egyenlő mellékszögek keletkeznek, akkor a két egyenlő szög derékszög, és az álló egyenest merőlegesnek mondjuk arra, amelyen áll. ...
- 23. Párhuzamosak azok az egyenesek, amelyek ugyanabban a síkban vannak és mindkét oldalt végtelenül meghosszabbítva egyiken sem találkoznak.”

A definíciók feladata tehát, hogy rögzítsék a fogalmak jelentését, mely nem feltétlenül azonos a hétköznapi nyelvhasználattal. Utánuk következnek a posztulátumok és az axiómák. E két csoport közötti különbség már az ókorban elhomályosult, általában a bizonyításra nem szoruló állításokkal azonosították őket. Holott a posztulátumok ezek:

- „1. Követeltessek meg, hogy minden pontból minden ponthoz legyen egyenes húzható.
- 2. És hogy véges egyenes vonal egyenesben folytatólag meghosszabbítható legyen
- 3. És hogy minden középponttal és távolsággal legyen kör rajzolható.
- 4. És hogy minden derékszög egymással egyenlő legyen.
- 5. És hogy ha két egyenest úgy metsz egy egyenes, hogy az egyik oldalon keletkező belső szögek (összegben) két derékszögnél kisebbek, akkor a két egyenes végtelenül meghosszabbítva találkozzék azon az oldalon, amerre az (összegben) két derékszögnél kisebb szögek vannak.”

Az első és a harmadik ma úgy mondanánk, az euklideszi szerkeszthetőségre vonatkozó egzisztenciális követelmény, a negyedik pedig az egybevágóság és hasonlóság biztosítására szolgál. Az utolsó, legismertebb az ún. párhuzamossági posztulátum, melynek függését az axiómarendszer többi részétől sokan próbálták a későbbi századok során bizonyítani. Amit említettünk a kockakettőzés problémájánál, az most már világos, hogy miért nem került bele az *Elemek*be. A hajlott vonalzó és egyéb mechanikai eszközök használata nem szerepel Eukleidész posztulátumai között. (Hogy valóban *nem is lehet* megoldani euklideszi úton, azt csak kétezer év múlva egy ifjú francia fogja tudni először bebizonyítani: Evariste Galois.)

Jellemző a posztulátumokra formájuk: „Követeltessék meg ...”. Főként, ha szembeállítjuk ezt az axiómákéval:

- „1. Amik ugyanazzal egyenlők, azok egymással is egyenlők.
2. Ha egyenlőkhöz egyenlőket adunk hozzá, az összegek egyenlők ...”

Az axiómák kijelentő formájúak, nincs kétség afelől, hogy igazak-e vagy sem. Ebben az értelemben mondhatnánk róluk Proklosszal, hogy azt rögzítik, amit minden józanul gondolkodó (matematikában jártas görög) egyébként is gondol.

A posztulátumok azonban nem ilyenek. Ezeket meg kell követelni. Vajon miért? Szabó Árpád itt ismét az eleai tradícióra utal. A mozgás, a változás ugyanis nem tartozott az antik görögök számára abba a körbe, amelyről minden további nélkül igaz állításokat tehetnénk. Zénón apóriái (*apória*: nehéz probléma) is arról szólnak, hogy nincs mozgás (pl. mert ahhoz, hogy eljussunk egyik pontból a másikba, előbb meg kell tennünk az út felét, és így tovább.), s hogy a mozgás gondolati megragadása lehetetlen. Márpedig a szerkesztésben mozgás van, így ennek lehetőségét meg kell követelni a továbbiakhoz. A posztulátum (*aitéma*) olyan követelmény, melyet úgy használunk fel a bizonyításban, hogy nem vagyunk benne biztosak, hozzájárul-e, igaznak tartja-e a másik fél. (Erre és néhány Arisztotelész szöveghelyre alapozva Tóth Imre magyar matematikatörténész azt fejtegeti, hogy lehetséges, hogy valamilyen formában létezett már a görögök idején is nem-euklideszi axiómarendszer.)

Így éles határ húzódik axiómák és posztulátumok között. Vannak azonban arra utaló jelek, hogy talán mégsem mindenki értett egyet a princípiumok ilyen felosztásával. Zénón egy másik apóriája (a fele rész egyenlő a kétszeresével) mintha épp a 8. axiómáról vélekedne másképp, ami azt mondja ki:

„Az egész nagyobb a résznél”.

Az *Elemek* könyvei – eredetileg papirusztekercsek – ezek után már csak újabb definíciókat tartalmaznak, és minden további összefüggést ezekre az axiómákra és posztulátumokra hivatkozva bizonyít. Ezek a geometria elvei, melyekre Arisztotelész hivatkozik az *Analitikában*, s melyekből minden más bizonyítandó. (Az axiomatikus matematika ezen ideálja csak kétezer év múltán adta át helyét egy másfajta axiomatizálásnak, melyről a későbbi fejezetekben lesz szó.)

Az első két könyv egyenesekre, szögekre és sokszögekre vonatkozó tételeket tartalmaz. Ezek közül néhány a területátdarabolással kapcsolatos, amire az „egyenletmegoldási” technikáknál még visszatérünk. I. 47 a Püthagorasz tétel, II. 14 pedig egy adott sokszög területének „kvadratúrája”, azaz a vele egyenlő területű négyzet megszerkesztése. A harmadik és negyedik könyv körökkel, bele- és körülírt sokszögekkel foglalkozik (melyek – emlékszünk – fontosak lesznek a körök területeire vonatkozó tételnél). Lényegében tétel formában előadott szerkesztési

feladatokat tartalmaznak. Az ötödik könyv a szakaszok arányaival foglalkozik, s ezek egy részét alkalmazza a hatodik, az alakzatok hasonlóságára vonatkozó tételekben. A következő három könyv a számok tulajdonságairól szól – oszthatóság, felbonthatóság, számok „hasonlósága”, négyzetszámok. A tizedik könyv tartalmazza az összemérhetetlen szakaszokra vonatkozó tételleket, és az összemérhetetlen mennyiségek osztályozását. Az utolsó három könyv alapvetően térgeometriai: a poliéderek tulajdonságaival foglalkozik, mint például a következő tételek:

„XII.10 Minden kúp harmadrésze az egyenlő magasságú és ugyanazon alapon fekvő hengernek

...

XII.18 A gömbök az átmérőikhez viszonyítva háromszoros arányban állnak egymással ...”

Az Eukleidész által ránk hagyott axiomatikus rendszerhez két kiegészítés tartozik. Az egyik, hogy miként lehet felfedezni ezeket a tételeket, melyek ebben a szigorú rendben bizonyítottak. A másik pedig az elmélet alkalmazása. E két területet vesszük szemügyre a következőkben, majd a hellenisztikus matematika nagyszerű eredményeiről is szólunk röviden.

6. Antik heurisztika

Az antik matematikai tárgyú értekezésekben általában szigorú rendben sorakoznak egymás után a tételek és bizonyításaik, de vajon hogyan fedezték fel ezeket a tételeket? Hogyan készül a matematika, és hogyan nyeri el azt az egzakttságot, melyet a kész műben tapasztalunk? Ezek a kérdések már az ókorban felmerültek, amikor a matematika tanulmányozása a mester és tanítvány közötti párbeszéd helyett a klasszikus szövegek olvasását, újragondolását, továbbvitelét jelentette. Papposz (aki maga számol be az i. sz. 320. évi napfogyatkozás személyes megfigyeléséről, ezért kivételesen róla pontosan tudjuk, mikor élt) a régi nagy matematikusokat (Eukleidész, Apollóniosz, Ptolemaiosz, ...) olvasva gyakran fűzött szövegeikhez kommentárokat. Mint az igazán figyelmes olvasó, részletezte a bizonyítást, ahol nem minden részlet volt leírva, kiegészítette az esetszétválasztást, ha hiányos volt, vagy éppen megfogalmazta az implicit lemmákat. Kommentárjai mellett eredeti felfedezései is voltak, most azonban nem ezekről, hanem az általa összeállított gyűjteményes munka (*Collectio*) VII. könyvéről²⁴ szeretnék szólni.

Ebben Papposz Eukleidész, Apollóniosz és Arisztaios korábbi eredményeire hivatkozva a heurisztikát (latinosan: *ars invendi*, azaz a felfedezés művészete) olyan tudományágként definiálja, mely a matematika elemeinek ismerőit hozzásegítheti feladatok megoldásához. A heurisztikának két módszerét különbözteti meg: az analízist és a szintézist. Az *analízis* során abból indulunk ki, amit bizonyítani akarunk. Következményeinek vizsgálata során szerencsés esetben eljutunk egy olyan ponthoz, amit már valóban biztosan tudunk, és ami az elkövetkező szintézis kiindulópontja lehet. (Tekinthetjük e leírás alapján az analízist ellenőrzésnek is, melyben, ha szükséges és elégséges következtetések mentén haladtunk, akkor elindulhatunk visszafelé.) Fordított irányú munkának is nevezi, mert a kérdés, amit a vizsgálódás folyamán újra meg újra felteszünk: „Mi kellene ahhoz, hogy ez a tétel igaz legyen?” Ebben a megfogalmazásban nem a

²⁴ Pólya György (magyar filozófus-matematikus, akinek a heurisztika XX. századi újjászületését köszönheti) *A gondolkodás iskolája* (Gondolat, Budapest, 1977) című ragyogó kis könyvében közli egy vázlatos fordítását is.

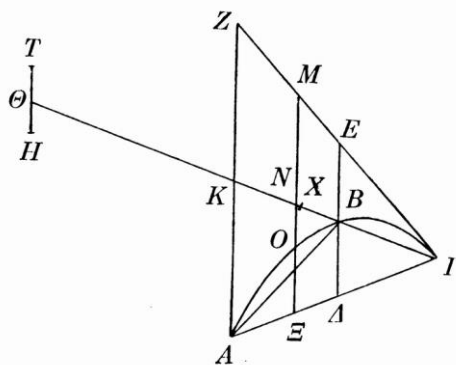
következmények, hanem inkább a feltételek vizsgálata jellemzi az analízist. Összefoglalóan tehát azt mondhatnánk, a tétel logikai-matematikai környezetének bejárásáról van szó, amíg egy már ismert részhez nem jutunk.

A *szintézis* ezzel szemben az ismertből indul ki, és innen építi fel a bizonyítás révén a tételt. Ezt Papposz konstruktív megoldásnak vagy egyenes irányú munkának is nevezi.

Kétféle analízist is megkülönböztet. Az egyik a bizonyítási feladatokhoz tartozik: célja az előre megfogalmazott tétel igazságának alátámasztása vagy cáfolata. A meghatározó feladatokban pedig egy ismeretlent keresünk, mely világosan rögzített feltételeknek felel meg, s ekkor az analízis célja ezen ismeretlen megtalálása.

Pólya György hangsúlyozza, hogy sem az analízis, sem a szintézis alkalmazása nem korlátozódik a matematikára (Papposznál: geometriára). Amikor a XVII. században újra előkerül a *módszer* problémája, akkor a matematika újra csak ideál, példakép lesz, és a tudósok, filozófusok általában a tudomány módszerét fogják keresni, mellyel biztosítani remélik felismeréseik igazságát. Descartes (*Szabályok az értelem vezetésére*, valamint *Értekezés a módszerről*) és Leibniz (ő csak tervezte egy *Ars invendi* megírását) a felfedezés forrását előbbre valónak, fontosabbnak tartották magánál a felfedezésnél.

Még egy antik szöveget ismerünk a felfedezés művészetének témakörében, és pedig Arkhimédész tollából. Időben természetesen korábbról származik, mint Papposzé, ám a világ jóval később szerzett róla tudomást. Egy papiruszra írt levélről van szó, melyet Arkhimédész Eratoszthenészhez írt, amelyet a századok során lekapartak és felülírtak, s teljesen véletlenül talált rá mintegy kilencven éve Heiberg dán filológus. Ez a levél arról szól, miként fedezte fel Arkhimédész, hogyan lehet kiszámítani a parabolaszélet területét. Ebben egy mechanikai modellre hivatkozik. Úgy kezeli a parabolaszéletet, mintha homogén lemezből lenne kivágva, és felfüggesztve tengelye mentén egy emelő egyik karjára. A parabola tulajdonságait ismerve, a parabolaszélet egyes szakaszait eltolja az emelő másik karjának egy pontjába, ahol ezek egyensúlyt tartanak egy ismert háromszög megfelelő szakaszaival.



Arkhimédész kiszámítja a parabolaszélet területét

Az emelőtörvény ismeretében, feltételezve, hogy a parabola összes (AB) szakaszát eltoljuk a másik pontba, az erőkar és a teherkar arányából adódik az összefüggés: a parabolaszélet területe a beleírt háromszög területének 4/3-szorosa. Arkhimédész ehhez hozzáfűzi: ezzel még nincs egzaktul bizonyítva az összefüggés, de bízhatunk az igazságában.

Amikor a gömb és a köré írt henger térfogatának arányát keresi, ugyanebben a levélben Arkhimédész hasonlóképpen homogén, tömör gömb és henger szeleteinek emelőkkkel való

kiegyensúlyozását alkalmazza. De ne gondoljuk, hogy a mechanikai okoskodás szükségképpen csak heurisztikus. A parabolaszélet kvadratúrájáról szóló dolgozatában ugyanis a módszerben közölt mechanikai eljárást egzakt kimerítéses eljárássá alakítja, azaz beírt és körülírt sokszögekkel közelítve határozza meg, majd megmutatja, hogy a terület ennél az értéknél sem kisebb, sem nagyobb nem lehet.

7. Alkalmazott matematika a hellenisztikus korban

Arkhimédészről szólván ismét előtérbe kerülnek a hétköznapi élet matematika segítségével megoldható problémái. Noha maga Arkhimédész egyetlen sort sem hagyott hátra ez irányú munkásságáról – lévén maga is a tiszta matematika elkötelezett híve –, saját korában híressé és elismertté mégis e tevékenysége tette. A kort és benne a matematika helyzetét is jellemzi, hogy – mint Plutarkhosz írja – Hierón király azzal próbálta biztatni mechanikai eszközök készítésére, hogy ezáltal felfoghatóvá teheti a köznép számára elméleteit.²⁵ Nos, a geométer valóban elméleti tudására alapozva szerkesztette meg híres hajítógépeit, melyek hatalmas köveket dobtak az ellenség hajóira, daruit, melyek felborították, víz alá nyomták, vagy épp kövekkel, ólomdarabokkal terhelve elsüllyesztették azokat. Erre utalnak *Az úszó testekről*, illetve a *Síkidomok egyensúlyáról* szóló elméleti értekezései.

Nem Arkhimédész az egyetlen azonban, aki a geometriai összefüggéseket más területeken alkalmazta. Pszeudo-Arisztotelész és Héron *Mechanikái*, Eukleidész és Ptolemaiosz *Optikái*, Heron *Katoptrikája (A tükrözésről)*, Dioklész munkája a (paraboloid alakú) *Gyújtótükrökről* is ily módon vitte át egy nem matematikai területre a geometria eredményeit. A térképészetben a gömbi geometria, illetve a sztereografikus projekció és a perspektíva geometriai tanulmányozása segített, ahogy az kiderül Ptolemaiosz *Geográfijában* leírt képekből és eljárásokból.

Végül talán a legismertebb alkalmazott matematikai terület a hellenisztikus korban a csillagászat lett, melynek betetőzése Ptolemaiosz *Almagestje*. Az alkalmazott matematika kérdéseiről bővebben is lesz még szó a fizikáról és a csillagászatról szóló fejezetekben.

C) A harmonikus kozmosz püthagoreus eszméje és a görög matematikai csillagászat

Székely László

1. A milétoszi természetfilozófia és a görög csillagászat

Láttuk, hogy a görög filozófiatörténet első, preszókratikus korszakát a természetfilozófia korszakaként definiálhatjuk. Ám ennél többet is állíthatunk: e korszak nem egyszerűen a természetfilozófia, mint inkább a kozmológia korszaka: az első görög „filozófiák” még nem annyira filozófiák, mint inkább a mitikus kozmológiák újrafogalmazásai. A milétosziak – bár kétségkívül a bölcsesség szeretői voltak – inkább mítoszalkotó személyiségeknek tűnnek föl, mint filozófusoknak e szó későbbi értelmében. Anaximandrosz aperiója vagy Anaximenész világot kormányzó levegője inkább a keleti mitológiák személytelen kozmikus elveinek és szubsztanciáinak rokona, mint a későbbi filozófiai fogalmaknak: ma már általános a vélemény, hogy amikor Arisztotelész saját filozófiájának fogalomrendszerét használva tárgyalja a milétoszi tanokat, saját filozófiájának jegyében interpretálja e korai bölcsek tanítását. Hasonlóképpen,

²⁵ Idézi van der Waerden: *Egy tudomány ébredése*, 342. o.

minden bizonnyal a püthagoreus közösségek sem a későbbi értelemben vett filozófia köré szerveződtek titkos társaságokként, hanem maga Püthagorasz tanítása volt olyan mitologikus tan, melyet adekvát formában műveltek szektaszerű közösségekben. Ami új, s a korábbi korokhoz képest rendkívüli volt a görögöknél, az egyrészt a mítoszalkotó ember önálló s tudatos személyiségként való előlépése, másrészt a kritikai attitűd, amivel minden korábbi és kortárs kozmológiai mítoszhoz viszonyultak.

Új kozmológiával előállni: ez persze mindenképpen eredeti és nemcsak politikai-közösségi, hanem szellemi értelemben is bátor cselekedet volt, s a kortársak talán e bátorságot, és egyáltalában a kozmológia megalkotásának képességet jutalmazták a „bölcesség szeretője” jelzővel. (Mindenesetre a „hét bölcs” közül csupán a kozmológus Thalésznek – kb. i. e. 640–646 – jutott osztályrészül ez a jelző.) Persze a mitológia újrafogalmazása sem teljesen párhuzam nélküli: amikor Buddha megalkotta az új vallást, ugyanúgy szuverén személyiségként viszonyult az addigi mitológiákhoz, s ugyanúgy újrafogalmazta azokat, mint Anaximandrosz (kb. i. e. 611–546) és Anaximenész (i. e. 585–525) a kozmológiát. Ám Anaximandrosz tanítása nem teremtett új vallást, s tanítványa, Anaximenész már mást tanít, mint mestere. A kozmológiai mitológia újrafogalmazása nem egy kivételes pillanatban föllépő kivételes személyiség megismételhetetlen tette volt: a szellemi szuverenitás és az ebből következő kritikai attitűd a görög kultúra, a görög ember egyetemes jellemzője.

A milétosziak által újrafogalmazott kozmológia mindenekelőtt abban különbözött a korábbi mitologikus kozmológiáktól, hogy *szakított a durván antropomorf, személyes kozmikus tényezőkkel*, s azokat – mint az előbbieken utaltunk rá – a keleti kozmológiákhoz hasonló személytelen kozmikus elvekkel helyettesítette. Az új kozmológia másik fontos jellemzője *monizmus* volt: a milétoszi világmagyarázat minden létezőt egyetlen, végső kozmikus alapelvre vezetett vissza. Ez a személytelen elv egyszerre képviselte a kozmosz szubsztanciális alapját, hordozta annak lehetőségét, s egyben azt a képességet is, hogy minden akaratlagos cél és tervzet nélkül, önmagából, önmaga személytelen, örök törvényei szerint megvalósítsa e lehetőséget és a sokszínű, változatos világot immanens módon létrehozza. A kozmosz történései és törvényei a milétoszi természetfilozófiában ebből a személytelen kozmikus elvből bontakoznak ki, s erre vezethetők vissza: a személytelen kozmikus elv (az aperiion vagy a levegő) örök törvényeivel egyben uralja, „kormányozza” is a világot. (Az elv „arché”-ként történő megjelölésének jogosultságán a filozófiatörténészek mindmáig vitatkoznak.)

A durván antropomorf és személyes mozzanatoknak, valamint a célirányult, akaratlagos kozmikus törekvéseknek az eltűnése azonban nem jelentette azt, hogy a milétoszi kozmológiát a mai természettudományos magyarázatokhoz hasonló, minden célokságot és antropomorfizmust mellőző szemléletmód és világmagyarázat jellemezte volna. Bár a világot kormányzó kozmikus alapelv személytelen volt, bizonyos – a mítoszokban megjelenő antropomorf tényezőknél jóval finomabb – antropomorf és teleologikus jelleget hordozott. Ezt a sajátosságot a modern materializmus és a modern természettudomány jegyében gondolkodó tudománytörténészek gyakran csak a nyelvi kifejezés kiforratlanságának, gyengeségének tartották, ám a ránk maradt szűkös töredékek között egy olyat sem találunk, amely ezen álláspontot alátámasztaná. Az az állítás, hogy a milétosziak a modern természettudomány vagy a modern materializmus szellemében tekintettek volna a kozmoszra, s csupán nyelvi eszközeik fejletlensége miatt maradtak rá az ennek ellentmondani látszó töredékek, egyébként is anakronizmusnak tűnik. Ha a görög természetfilozófia kétségen kívül a személyes elemekkel benépesített görög mitológiával történő szakítással jött is létre; a személytelen kozmikus elvei – mint már említettük – inkább a

keleti kozmológiák személytelen világelveire hasonlítanak, mint a modern természettudomány törvényeire, vagy a modern materializmus anyagára.²⁶

Ugyanakkor a személytelen és egynemű kozmosz eszméjével összhangban, és a kozmikus alapelvben rejlő finom teleologikus és antropomorf mozzanatok ellenére a korai görög bölcselők határozottan elvetették az olyan magyarázatstruktúrákat, melyek – a mítoszokhoz hasonlóan – az akaratlagos és előrelátó emberi tevékenység mintájára magyarázzák a természeti jelenségeket. Tanításukból az is következett, hogy a kozmoszt meghatározó személytelen elvekhez és erőkhöz képest mind a klasszikus mítoszok személyes tényezői – az akarattal és tudattal rendelkező Istenségek –, mind az ösztönösen célirányult törekvésre képes élőlények, mind az akarattal és a tudattal bíró ember csupán másodlagosan, e személytelen elvek és erők tevékenységének eredményeképpen, mindennemű kozmikus tervezet nélkül jöttek létre.

Platón (i. e. 427–347) Empedoklészra (kb. i. e. 495–435) célozva a következőképpen karakterizálta ezt a sajátos, általa igen negatívan értékelt világértelmezést:

„azt állítják, hogy a tűz, víz, föld és levegő valamennyien a természet és a véletlen művei, s a művészetnek semmi szerepe sem volt létrejöttüknél; az ezek után keletkezett testek viszont: a Föld, a Nap, a Hold és a csillagok ezek által keletkeztek; ... nem ész által, sem nem valamely isten, sem nem öntudatos művészet által, hanem – mint mondtuk – természet és véletlen folytán. A művészet csak később ezekből – a véletlen folytán létrejött halandókból – s így másodrangúnak és halandónak született, s ezért hozott létre holmi, a természetes lét szempontjából másodrangú, az igazi létben alig részesülő másodlagos alkotásokat, melyek csak afféle képmásai a valóságnak, s ebben rokonai egymásnak; ilyenek a festészet, a zene és a többi velük együtt dolgozó művészetek alkotásai. Azok a művészetek pedig, amelyek valami komoly dolgot is létrehoznak, a természettel párosították a maguk képességét, mint például az orvostudomány, a földművelés és a testgyakorlás ... Így látszik, hogy az előadott nézetek hirdetői azt gondolják, hogy a tűz, a víz, a föld és a levegő a legelső létezők, s ezeket értik a 'természet' elnevezésen; a lélekről pedig azt tartják, hogy csak később, ezekből az elemekből keletkezett. ... Ami az első oka és forrása minden dolog keletkezésének és pusztulásának, azt nem elsőnek, hanem olyasminek, ami csak később keletkezett, tüntetik föl azok az okoskodások, amelyek az istentelenek lélekfogalmát kialakították; azt viszont, ami tényleg későbbi és másodlagos, elsődlegesnek és előbbinek tüntetik föl ...” (Törvények, X. könyv, 889–891.)²⁷

A mítoszokkal szakítva az európai gondolkodás történetében a görögöknél – mégpedig konkrétan a milétozi természetbölcselőknél – jelenik meg először a minden tervezet nélküli, örök, személytelen elvek és törvények szerint működő kozmosz ezen eszméje, és az a modern természettudományos

²⁶ Vö. ezzel kapcsolatban Kirk, Raven és Schoefield *Preszókratikus gondolkodók* című alapvető munkáját, ami azon túl, hogy számos lényeges preszókratikus töredéket tartalmaz, kommentárjaiban differenciáltabb, árnyaltabb képet nyújt e korai gondolkodókról és a mitologikus szemlélethez való viszonyukról, mint az a nálunk sokáig egyoldalúan uralkodó fölfogás, mely a milétozi gondolkodókat korai materialistáknak vagy éppen a mai értelemben vett természettudományos racionalizmushoz hasonló racionalizmus képviselőinek tekinti.

²⁷ Platón *Összes Művei* III. köt. (Európa, Budapest, 1984).

világmagyarázatot is előkészítő tudatos törekvés, mely a kozmosz egészét a most ismertetett módon – értelem és célirányultság nélküli tényezők segítségével, a földi világban tapasztalt és megfigyelt jelenségek és folyamatok mintájára – próbálja meg megérteni és megmagyarázni.

A milétoziak természetfogalma ugyanakkor ezzel együtt sem azonos az újkori tudomány természetfogalmával. Nemcsak a kozmikus elvekben érzünk finom teleológiát és antropomorf vonásokat, hanem az élettelen természet is a növényekhez és az állatokhoz hasonlóan bizonyos elevenséggel, öntevékenységgel bír. A görög „*phüizisz*” szó eredetileg elsősorban az élő – s ezen belül az emberi – természetet jelentette, ám az élettelen természetre alkalmazva is megőrzött valami aktivitást, tevékenységet jelentésében. A természetet a korai görög természetbölcselek számára permanens forrongás jellemezte. Ez abból fakadt, hogy természetképükben a természet olyan aktív potenciákat hordozott magában, melyek magukat a természet működésének részeként, tevékeny módon, önállóan realizálták a létrejövés, a célirányultság nélküli keletkezés és az elenyésztés soha meg nem szűnő folyamatában. Ezért amikor az előbb úgy fogalmaztunk, hogy a milétoziak kozmoszában a lélekkel bíró létezők másodlagosak voltak, akkor ennek során a lélek mai fogalmára, a célirányos és az akaratlagos cselekvésekre képes lélekre gondoltunk. Az aktív, öntevékeny potenciák értelmében a milétoziak kozmosza ugyanis lelkes, s ők maguk a természeti jelenségek kapcsán gyakran beszélnek lélekről. Így Thalész szerint a mágnes, azért vonz, mert lélekkel rendelkezik²⁸, vagy Anaximenész szerint a levegő úgy fogja át a világot, mint a lélek az emberi testet²⁹. Ez a lélekfogalom nem a mi lélekfogalmunk, de nem is a Szókratész (i. e. 469–399) után alkotó Platón (i. e. 427–347) vagy Arisztotelész (i. e. 384–322) lélekfogalma, hanem inkább a természeti létezőknek egyfajta vak, célirányultság nélküli tevékenységre képes elevensége. Ezért ha ezt az elevenséget a milétoziak hasonlatosnak is tartják az emberi lélekhez, ezt nem azért teszik, mert valami akaratlagosságot, vagy más, a tulajdonképpeni természettől különböző lényegét tételeznének föl a kozmoszban, hanem sokkal inkább azért, mert maguknak az élőlényeknek és az embernek a lelkét sem különböztetik meg igazán testi valójuktól, s azt is a természetbe szervesen beágyazódó tényezőként, a természet szerves mozzanataként fogják föl.

A természetnek ez a milétoziakra jellemző belső aktivitása, öntevékenysége az atomistáknál később a minimumra redukálódik: a passzív, tevékenységre képtelen atomok véletlenszerű örvénylése váltja föl helyét³⁰. Empedoklésznél és Anaxagorasznál (i. e. 500–428) viszont az eredendő, öntevékeny természeti aktivitás oly módon szűnik meg, hogy a kozmosz struktúrája egy aktív és egy passzív tényezőre bomlik szét.³¹

A monista kozmoszképnek a görög csillagászat története szempontjából igen fontos következményeként az égi jelenségek is ugyanolyan módon magyarázandóak, mint a földi jelenségek: természeti, s nem isteni jellegűek, keletkeznek és elmúlnak, nem jellemzi őket sem a célirányultság, sem az akaratlagosság stb. Ugyanakkor, bár az égi és a földi világ ezen alapvető egyneműségéből nem következik logikai szükségszerűséggel egyúttal fizikai egyneműségük is,

²⁸ Görög gondolkodók 1. köt., 6., 13. o.

²⁹ Uo. 30. o.

³⁰ Pl.: „A világok pedig így keletkeznek: a határtalanból való elszakadás folytán sok, mindenféle alakú test egy nagy úrbe kerül, s ezek összegyűlve egyetlen örvényt alkotnak...” – írja Diogenész Laertiosz Leukipposz természetbölcseletéről. Görög gondolkodók 2. köt., 50–51. o.

³¹ Empedoklésznél az aktív oldal a Gyűlölet és a Szeretet párosa (pl. Görög gondolkodók 2. köt., 20–22., 25. o.); Anaxagorasznál az Értelem (vö. Görög gondolkodók 1. köt., 103–104., 106–107. o.).

mégis kézenfekvően adódik, hogy egy ilyen kozmoszban az égi dolgok megértésére törekedve földi analógiákat keressünk.

A csillagvilág földi analógiák segítségével történő teoretikus tárgyalása, s ezzel az égi és a földi világ fizikai homogenitásának tételezése: ez az igazi értelme a csillagok természetével kapcsolatos olyan típusú elképzeléseknek, mint amilyenek pl. Anaximenésznél találkozhatunk, aki ezeket földi kigőzölgések eredményeképpen létrejövő légköri jelenségeknek tekinti³², vagy a Nap és a Hold tüzes kerékként történő leírásának, melyet a hagyomány Anaximandrosznak tulajdonít.³³ A földi és az égi világ fizikai egyneműségének föltételezése a preszókratikus természetbölcseleknél kifejeződött az olyan korábban félelmet keltő, misztikusnak tartott jelenségek fölötti tűnődésekben is, mint a nap- és a holdfogyatkozások. Így Anaximandrosz a Nap- és a Hold-kerék fénykibocsátó nyílásainak időleges eldugulásával magyarázza a fogyatkozásokat³⁴, míg úgy tűnik, hogy Anaxagorasz – figyelembe véve a Napnak és a Holdnak a fogyatkozásakor egymáshoz képest elfoglalt helyzetét – nemcsak eltalálja, hanem a szó mai értelmében föl is ismeri a jelenségek valódi okát.

A fönti megfontolások, s az eredményül kapott következtetések egy része mai ismereteink alapján persze igen naivaknak tűnhetnek, ám valóságos értéküket, jelentőségüket nem konkrét tartalmuk adja, hanem az az attitűd, s világkép, ami kifejeződik bennük. De az attitűdön túl magát a tartalmat tekintve is igen anakronisztikus volna az akkori ismeretanyag figyelembevétel nélkül, mai ismereteink alapján minősíteni e több mint két és fél ezer évvel ezelőtti elképzeléseket. Így például az a kozmikus kép, melyben a Föld alakja lapos, az adott kor szellemi horizontján semmivel sem volt naivabb vagy vitathatóbb, mint a Föld gömbölyűségének föltételezése, melyet egyes források a korai püthagoreusoknak, mások az eleai Parmenidésznek (i. e. 540 körül) tulajdonítanak.³⁵ Így az anakronisztikus tudománytörténet-írás tipikus példája az az állítás, amely szerint Parmenidész Anaximenésztől eltérően „fölsimerte” volna a Föld gömb alakját, hiszen az akkori görög tapasztalati ismeretekből kiindulva semmivel sem volt indokoltabb a Föld gömbölyűségét állítani, mint pl. az Anaximandrosz-féle oszlopszerűségét.³⁶ Nem a konkrét magyarázat részleteit kell tehát tekintenünk, hanem általában a csillagvilág jelenségeinek új típusú, azokat demitizáló értelmezését kell értékelnünk. Arra, hogy a kozmosz ilyen leírása mennyire eredeti volt, mily mértékben szakított a hagyománnyal, s ezért mennyire irritálta még a görög fölvilágosodás csúcspontján is a görög embereket, bizonyítékként szolgál az Anaxagorasz elleni athéni per, melynek egyik fő vádpontja az volt, hogy Anaxagorasz a Napot tüzes ércötömegnek tekinti, s ezáltal tagadja annak isteni voltát.³⁷

A milétoziakhoz visszatérve, Anaximandrosz kapcsán meg kell még említenünk azt is, hogy a görög kultúrában oly meghatározó harmóniaeszmével összhangban természetmagyarázatában – így a Föld kozmikus pozíciójának leírásában – megjelentek a természetben belüli harmonikus

³² *Görög gondolkodók* 1. köt., 26., 29. o.

³³ Uo. 21. o.

³⁴ *Görög gondolkodók* 1. köt., 21. o.

³⁵ Diogenész Laertiosz alapján Püthagorasz kozmológiájában a világ gömb alakú volt, középpontjában a szintén ilyen alakú Földdel. Ugyancsak ő Favorinusra hivatkozva azt állítja, hogy Püthagorasz volt az első, aki a Földet gömb alakúnak tekintette. Arisztotelész tanítványa, Theophrasztosz viszont Parmenidésznek tulajdonítja ezt az elsőséget.

³⁶ *Görög gondolkodók* 1. köt., 15–16., 22. o.

³⁷ *Görög gondolkodók* 1. köt., 101., 103. o.

geometriai alakzatok és arányok, s nem zárható ki, hogy ily módon a püthagoreusok természet-fölfogásának is egyik inspirálója volt.

Összegzőképpen megállapíthatjuk tehát, hogy a milétozi iskola a kozmosz egységes szemléletével, az empirikus kiindulóponttal – Anaximandrosz esetében a geometriai és matematikai szempontok megjelenésével is –, s különösképpen pedig a személytelenül működő kozmikus alapelvvvel (a kifinomult formában fölbukkanó antropomorf és teleologikus mozzanatok és a természet „lelkességének” ellenére) a későbbi természettudományos szemléletmód és világmagyarázat egyik előkészítője és forrása. Így abban, hogy a XVI. és a XVII. században kibontakozó újkori csillagászat a dualista és célirányult arisztotelészi világtól visszatért az egynemű, személytelen kozmosz ideájához, a most tárgyalt görög természetbölcselek – s közülük különösen a személytelen kozmosz milétozi eszméjét radikalizáló, s már kifejezetten célirányultság nélküli és dezantropomorf kozmológiát alkotó atomisták – tanítása is szerepet játszott.

Ennek ellenére a görög matematikai csillagászat – az első igazán kifejlett és hatékony elméleti-matematikai természettudomány – nem fejlődhetett volna ki a milétozi alapokon. Mi több, a milétozi kozmoszkép egyenesen elzárta az utat e fejlődési irányban. E világmentelmezés ugyanis nem ösztönözhetette igazán az égbolton tapasztalható mozgások szabályosságainak kutatását, s ezért kozmoszképe alapján nem alakulhatott volna ki az a gondolkodásmód és ismeretrendszer, amit ma egzakt tudománynak nevezünk. A világegyetem ilyen elképzelésével összhangban volt ugyan az a fölismerés, hogy a Nap, a Hold és a bolygók mozgása bizonyos szabályosságot mutat, ám teljesen idegen volt tőle az az eszme, hogy e szabályosságnak a közvetlenül megfigyelés során tapasztalt, csupán közelítően pontos jellege pusztán látszat volna, ami mögött pontosabb – esetleg tökéletes, harmonikus, matematikai jellegű összefüggéseknek eleget tevő – szabályosság rejlik. Mert a természet közvetlen tapasztalása azzal az élménnyel szolgál ugyan, hogy jellemzőek rá a törvényszerű ismétlődések, a visszatérések és a körforgások, ugyanezen élmény alapján az a benyomás alakul ki bennünk, hogy ezek sohasem tökéletesek, sohasem pontosak, hanem csupán megközelítőleg szabályszerűek. Sőt, a földi és égi világot egységes kozmosznak tekintő, s ennek nyomán az égi létezők és jelenségek isteni természetét tagadó kozmosz milétozi eszméje éppenséggel a további kérdéseket automatikusan elzáró magyarázatot ad a pusztán közelítően szabályosnak mutatkozó égi jelenségek szabálytalanságaira: *az égitestek nem az isteni, hanem a földi jelenségekhez hasonló természetűek, s ezért pályájukon szükségképpen pontatlanul, váltakozó sebességgel (sőt, néha még sebességük irányát is megváltoztatva), ingadozva haladnak.*

2. A praktikus görög csillagászat

Arról, hogy a görög kultúrában pontosan mikor kezdődött az égitestek mozgásának, a csillagos ég változásainak szisztematikus megfigyelése, nincsen tudomásunk. Az azonban bizonyos – s erről az irodalmi emlékek is tanúskodnak –, hogy a csillagos eget a mindennapi életben ők is időmérő eszközként használták, s ennek részeként népi kalendáriumokat alakítottak ki maguknak. E népi csillagnaptárak készítése azután az idő múlásával fokozatosan professzionalizálódott, s olyan személyek vették át ezt a föladatot, akik speciálisan ismerték és tudatosan vizsgálták a csillagos ég változásainak szabályosságát. A professzionalizálódott naptárkészítés nyomán fejlődtek ki azután az év, a hónap és a nap hosszával, valamint egymáshoz való arányával foglalkozó vizsgálódások, melyek abból fakadtak, hogy a népi kalendáriumok természetükből következőleg évkalendáriumok voltak, hiszen a csillagos ég változása és az időjárás a Nap éves keringésével

függ össze, míg a görög civil naptár a Hold keringésén alapuló Hold-naptár volt.³⁸ A civil Hold-naptárnak és a népi kalendáriumok Nap-naptárának összhangba hozása így természetes problémaként adódott. Az összhang elérését azonban megnehezítette az, hogy a civilnaptár csak hozzávetőlegesen követte a Hold mozgását, s a civil élet követelményeinek megfelelően egy-egy hónaphoz olykor pótnapokat illesztettek. Így Athénban a naptárért felelős archon bármikor beilleszthetett egy újabb napot a naptárba, s így kialakult az „archon szerinti” és az „isten szerinti” dátum fogalma, melyek közül csak az utóbbi követte igazán a Hold mozgását. Az „isten szerinti” naptár, mint csillagászati naptár, tehát fokozatosan elszakadt a civil naptártól. A Hold-hónap és a Nap-év összhangba hozására irányuló törekvések ennek során természetesen a csillagászati naptárral dolgoztak, s az így kapott pontosabb naptárt használták később a görög csillagászok megfigyeléseik rögzítésekor.

A népi kalendáriumokat és a Hold-naptárat összekapcsoló konstrukciókat „parapegmá”-knak hívták. A „parapegma” kifejezés a görög „parapégnumi” igéből származik, mely annyit jelent, hogy „melléje bedugni”. A szó egy olyan kőtáblára utal, melyen az év napjait, valamint a természeti jelenségek, az évszakok változásai szempontjából jelentős eseményeket rendelték a népi kalendáriumok szellemének megfelelően egymás mellé. E táblán minden egyes naphoz egy piciny, táblába fúrt lyuk tartozott, s görög hónap kezdetét jelölő, egy évre előre kiszámított újholdnapokat az e lyukakban elhelyezett pálcikákkal jelölték, ezzel a mozgatható jelöléstechnikával oldva meg a Hold-naptár és a Nap-naptár közötti évenkénti eltolódás rugalmas követését. Maga a „parapegma” szó később átvitt értelemben nemcsak az ilyen kőtáblákat jelölte, hanem minden olyan táblázatot, mely a csillagos ég és a természet eseményeinek évenként visszatérő, periodikus kapcsolatát adta meg a Hold-naptár relációjában. *A parapegma tehát végeredményben a népi csillagnaptárnak megfelelő professzionizált évnaptárat, s ennek Hold-naptárra történő „lefordítását” tartalmazta.*

A parapegmák előzményét képező népi csillagnaptár klasszikus irodalmi példájával találkozhatunk Hésziodosz (i. e. VII. század) *Munkák és napok* című eposzában:³⁹

„Pléjászok, Atlasz lányai, hogy föltűnnek az égen,
kezdj el aratni, s amint eltűnnek, kezd el a szántást. Negyvenszer
kél és nyugszik a Nap, míg rejtve maradnak, közben az esztendő
lassan tovagördül útján, s akkor kell, hogy előbújnak, vasadat
köszörölnöd.” (384–388.)

³⁸ A polgári élet egységét képező hónap napjainak jellemzését Hésziodosz a *Munkák és napok* című eposzában például a következő képpen kezdi;

„Zeusz-rendelte napok menetét jól vedd figyelembe,
s úgy oktasd ki cselédeidet: harmincadikán kell elszámolni a
munkát, s egy hónap fejadagját osztani szét...” „Szent nap a
hónap-kezdő nap, negyedik és hetedik nap ... nyolcadik és
kilencedik is még...”

Vö.: Hésziodosz: *Istenek születése/Munkák és napok* (Trencsényi-Waldapfel Imre fordítása, Magyar Helikon, Budapest, 1976), 64. o.

³⁹ Az idézeteket Trencsényi-Waldapfel Imre fordításában közöljük, s utánuk zárójelben az eposz megfelelő sorainak számozása szerepel. Vö.: Hésziodosz: id. mű: 41–66. o.

„Már amidőn a Nap izzasztó heve lassan alábbhagy,
múlik a forró nyár, ... a Szíriusz is kevesebbet jár a halandó
emberi fajta fölött a magasban, már legalábbis nappal, az éjből vesz
ki nagyobb részt; ... szerszámhoz fát vágnod az erdőn ekkor a
legjobb.” (414–423. o.)

„Hogyha a napfordulta körül szántod csak a földet,
ülve arathatsz majd, s keveset markolsz a kezeddal ...” (479–480. o.)

„Legrövidebb nap után ha a hatvan téli napot Zeusz
elvégezte, az Arkturosz csillag ragyogóan bukkan fel, szentséges
habjait Okeánosznak elhagyván, s fényét széthinti az esti homályban.
Ekkor jön föl bús panaszával a napra a fecske, Pandionisz, s vele
jön meg az új tavasz is. Te ne várd be érkezését, jobb hogyha előbb
metszed meg a szőlőt.” (564–570.)

„Szolgáidnak szólj: Déméter szent gabonáját csépeljék
ki, amint föltűnik erős Orion...” (597–599.)

„Szíriusz, Orion, ha fölérnek az ég közepére, s a
rózsásujjú Hajnal az Arkturoszra tekinthet, akkor kell Perszész, a
tőkéről szedni a fürtöt, ... Ám ha erős Írion s Pléjászok Hüaszokkal
eltűnnek, ne feledd fölszántani jókor a földet: így fejezd be a
szántóföldön rendben az évet.” (609–617.)

„Tartsd szem előtt, ha veszélyes mesterség, a hajózás
csábít: Pléjászok mikor Orion erejétől megfutamodva a ködszínű
tengerre lebuknak, akkor minden féle szelek fúvása viharzik, s akkor
nem jó járni hajóval a borszínű tengert, műveld földedet inkább,
úgy, ahogy én kitanítlak.” (618–623.)

„Napfordulta után, ötven teljes napon át, míg tart a
verejtékes nyár évszaka, tart a hajózás, tengeren akkor jár a
halandó, s nem törik össze gyöngé hajója, legénységét nem nyeli el
hullám, csak ha a bölcs isten, ki a földet rázza, Poszeidon, vagy
maga Zeusz, a haláltalanok fejedelme kívánja ...”
(663–668.)

A Hésziodoszéhoz hasonló naptárt tartalmazhatott annak a Thalész-tanítványnak tekintett Kleoztraphosznak *Asztrológia* című műve is, aki a hagyomány szerint a görögöket megismertette az állatövi csillagképekkel.

A ránk maradt töredékek alapján az első parapegmákat i. e. 430 körül Menton és Euktemon készítette, s tudjuk, hogy készített parapegmát Démokritosz, Eudoxosz és Kalüpposz ⁴⁰ is.

⁴⁰ Görög csillagász az i. e. IV. századból, aki továbbfejlesztette Eudoxosz szféra-elméletét. Egy ideig valószínűleg Arisztotelész tanítványa volt.

E parapegmák eredetiben csak szövegtöredékek formájában maradtak ránk, melyek alapján Albert Rehm Euktemon parapegmájának részletét a következőképpen rekonstruálta:⁴¹

„A Nap a Rák csillagképen 30 nap alatt halad keresztül.

1. nap: nyári napforduló. Időjárásváltozás.

2. nap: az Orion teljesen fölkel.

13. nap: a Szíriusz fölkel.

28. nap: az Aquila lenyugszik. Vihar a tengeren.

A Nap az Oroszlán csillagképen 30 nap alatt halad keresztül.

1. nap: a Szíriusz megjelenik. Fullasztó melegek kezdődnek. Időjárásváltozás.

14. nap: a legerősebb melegek.

17. nap: a Lant csillagkép lenyugszik. Esők. Az időszaki szelek elcsendesednek.

A Pegazus csillagkép este fölkel.”

Az idézett részletből is látszik már, hogy a professzionális parapegmák naptárrésze az állatöv csillagképei szerint tagolódott, s a csillagképeken keresztül haladó Nap függvényében adták meg mind a csillagászati, mind pedig az időjárásbeli jelenségeket. Így amíg a népi naptárnál a csillagos ég eseményeihez rendelték hozzá a természeti jelenségeket, a parapegmákban az alapskálát a Nap mozgása és az állatövi csillagképek által determinált szigorúbb időskála adta meg, s a csillagkelelések és csillagnyugvások az időjárásbeli eseményekhez hasonlóan az alapskálára vonatkoztatott, időpont-megjelöléssel megadandó eseményekké váltak.

Bár az egy-egy csillag vagy csillagkép lenyugvására és fölkelésére vonatkozó utalások továbbra is a népi naptárat idézik, látszólag hasonló pongyolaságuk ellenére ezek is egzaktabbá váltak: kifejezetten az első hajnali vagy esti eseményre vonatkoznak. Az egzaktaságot tanúsítja az idézett részletben pl. a Sirius kelése és megjelenése közötti megkülönböztetés. A „fölkel” kifejezés a Siriusnak a Nappal együtt történő – a Nap fényessége miatt nem látható – hajnali kelésére vonatkozik, míg a „megjelenés” a Sirius első látható hajnali kelésére.

Azt, hogy a most idézethez hasonló táblázatok egy parapegma részét alkották, s mint ilyenhez, hozzátartozott a dátumok Hold-naptárra való átszámítása is, azok a töredékek tanúsítják, melyek e csillagnaptárak szerzőinek a Nap-év és a Hold-hónap viszonyával kapcsolatos megfontolásait őrizték meg számunkra. Így pl. tudjuk, hogy Menton és Euktemon bevezette a 235 Hold-hónapból álló, 19 éves ciklust, melyben 12–12 hónapos és 7–13 hónapos év szerepelt. Ezzel a ciklussal nagy pontossággal összhangba lehetett hozni a Hold-hónapokat és a Nap-éveket, s nyilván e ciklus alapján történt meg az évtáblázaton a hónapkezdetek kijelölése. Természetesen a Hold keringési ideje sem osztható a nap csillagászati hosszával, így e szabálynak tartalmaznia kellett a 29 és a 30 napos hónapok váltakozását is. Ez Geminosz⁴² szerint úgy történt, hogy eredetileg 30 napos Hold-hónapokkal számolva minden 63. nap után egy napot kihagytak. Pl. a 3. hónap 4. napja kimaradt, s az ezáltal 29 napos – „hiányos” – hónappá vált. Ugyanakkor, mivel az állatövi csillagképeket már nem becslés alapján, hanem az elliptika egyenlő, 30 fokos szegmensekre osztásával adták meg, nyilvánvalóvá vált az is, hogy a Nap haladási sebessége nem egyenletes. Ez az oka annak, hogy Euktemon a csillagképekre megadja a Nap áthaladási idejének hosszát: ugyanis ezt váltakozónak

⁴¹ Vö.: Rehm, Albert: „Parapegmastudien.” in: *Abhandlungen Bayer. Akademie der Wissenschaften. Phil.-hist. Abteilung. Heft 19* (München, 1941), 122–139. o.

⁴² I. e. I. századi sztoikus matematikus és csillagász.

tekintette, s a Ráktól kezdve az első hét csillagképnél 30 napos, az ezt követő ötnél 31 napos, azaz a nyári napfordulótól kezdődően negyedkörös szegmensenként 90, 90, 92 és 93 hosszúságú áthaladási idővel számolt.

Démokritosz (kb. i. e. 460–371) parapegmájáról nem sokat tudunk, míg Eudoxosz⁴³ (i. e. 408–355) esetében úgy tűnik, hogy az pontatlanabb volt, mint Euktemoné. Ugyanakkor Kalüpposz parapegmája jelentős előrelépést jelentett a pontosság tekintetében: ugyanis Euktemontól eltérően a jóval pontosabb 92, 89, 90, 94 napos sorozattal jellemezte a Nap mozgásának váltakozását. A 19 éves euktemoni ciklust Kalüpposz ugyancsak egy jóval pontosabb, 76 éves ciklussal helyettesítette, melynek következtében az év átlagos hosszára az euktemoni 365 5/19 nap helyett az 365 1/4 értéket kapta, mely, mint tudjuk, a csillagászati év valóságos hosszának igen pontos közelítése. Nem véletlen tehát, hogy ettől kezdve a görög csillagászok a Kalüpposz-féle kalendáriumot használták, melyben az athéni hónapnevekkel megadott megfigyelési időpontokat minden probléma nélkül át lehetett számolni az egyiptomi naptár adataira, s megfordítva.

Számos jel mutat arra, hogy a naptárkészítés görögországi professzionalizálódása nemcsak hazai alapokon bontakozott ki, hanem befolyásolták a babilóniai csillagászat párhuzamos eredményei is. Euktemon mezopotámiai kortársai szintén a 19 éves ciklust használták, vagy az egyes állatövi csillagképekre megadott Nap-áthaladási időtartamok Kalüpposznál egybeestek a babilóniaiak adataival, akik valamivel a görögök előtt ismerték föl a Nap egyenetlen haladási sebességét.

A parapegmakészítés professzionalizálódása tehát hozzájárult bizonyos naptári összefüggések pontosításához – a 19 éves Hold-ciklus felismeréséhez és a természetes év hosszának 365 1/4 nappal való megközelítéséhez. A naptárkészítés azonban ezen túl nem ösztönözhetette a csillagos ég, s különösen a bolygók mozgásának pontosabb megfigyelését. A parapegmak számára elsősorban a Nap és a Hold periódusai voltak fontosak, s az eredeti funkciójukból következően – hiszen pl. az őszi szelek sohasem ugyanazon a naptári napon érkeztek – egy bizonyos pontosságon túl már ezekkel sem volt értelme foglalkozni tovább. Ha a parapegmakészítők mégis újra és újra a pontosság fokozására törekedtek, ez már nem annyira a gyakorlati igényekből, mint inkább a számítások és egyeztetések során keletkező problémák intellektuális kihívásából, valamint az elméleti csillagászat belső igényeiből fakadt. *A görög élet mindennapjait nem jellemezték ugyanis olyan vallási rituálék, melyek matematikailag pontos naptárat kívántak volna, s ekkor a matematikai eszközökkel dolgozó csillagjóslás sem volt jelen még.*

Bár – mint erre az ókori görög tudományok kiváló magyar kutatója, Szabó Árpád legutóbbi tanulmányaiban rámutat – a görög gyakorlati csillagászat fölkelte a csillagos ég iránti, a mindennapi gyakorlati igényektől és haszontól már elszakadó intellektuális érdeklődést, és hozzájárult a görög matematikai csillagászatot jellemző matematikai-geometriai szemléletmód és az általa alkalmazott geometriai eszközök kialakulásához⁴⁴, a görög matematikai csillagászat kifejlődését meghatározó kérdésföltevések nem fogalmazódhattak volna meg keretében. Látó-köréből már a Nap- és a Hold-fogyatkozások is kimaradtak, nem is beszélve a bolygók mozgásáról,

⁴³ Kiváló görög matematikus és csillagász, aki filozófiai műveket is alkotott. Az arányokról szóló értekezését Eukleidész fölvette az *Elemek* 5. könyvébe. Tekintettel arra, hogy tőle ered a homocentrikus szférák elmélete (lásd később), ő tekinthető a matematikai csillagászat megalkotójának.

⁴⁴ Vö.: Szabó Árpád: *Az antik csillagászati világkép: árnyék-naptár-földrajz-geometria* (Typotex, Budapest, 1998).

mely a görög elméleti csillagászat érdeklődésének középpontjában állt. A bolygók mozgása sem a görög mindennapi életben, sem a görög vallásban nem bírt akkora jelentőséggel, hogy előrejelzésére ilyen szempontok alapján igény fogalmazódhatott volna meg. Ami pedig a csillagjósást illeti: mint már említettük, a csillagjósás e korai időszakban ugyancsak nem foglalkozott a bolygómozgások előrejelzésével; később pedig, a hellenisztikus korban, a babilóniai kaldeusok pusztán kalkulatív–matematikai módszerét alkalmazta.

Ahhoz tehát, hogy a görög matematikai csillagászat, s ennek csúcsteljesítménye, a ptolemaioszi rendszer, valamint ezek nyomán hosszú, s összetett gondolkodástörténeti áttételeken keresztül a modern egzakt természettudomány megszülessen, nem volt elegendő sem a mindennapi igényeket kielégítő praktikus csillagászat, sem pedig a személytelen, homogén kozmosznak a Milétozban megszületett, majd az atomisták által radikális formában képviselt eszméje. Mindehhez egy olyan ideára volt szükség, mely egyaránt idegen, s „külső” volt a természettel kapcsolatos mindennapi élmény, és a véletlenszerűen ható, vak szükségszerűségek által jellemzett dezantropomorf kozmosz szempontjából. Ez a „külső”, idegen idea pedig mint *a számok, a számtani arányok, s a tökéletes geometriai forma, a gömb szerint fölépülő harmonikus kozmosz ideája, a püthagoreusok – minden bizonnyal maga Püthagorasz – által fogalmazódott meg, és a kozmosz szerkezetében és működésében egy olyan meghatározó elv jelenlétét feltételezte, mely kívül állt a milétoziai öntevékeny, önmaga potenciái által önmagát realizáló természetén.*

3. A harmonikus kozmosz püthagoreus eszméje

Ez az öntevékeny természettől idegen, rajta kívül álló elv a szám volt. Mint korábban láthattuk, a püthagoreusok szerint a természet nem egyszerűen potenciák és ezek öntevékeny realizálódásának elválaszthatatlan egysége, hanem azt a számok, a számok által jellemzett arányok, valamint a számokkal szintén jellemezhető tökéletes geometriai alakzatok uralják: a természet mintegy ezek kibontakozása és realizálódása az érzéki-tapasztalati világban.⁴⁵

Önmagában ez a világgép is dezantropomorf, hiszen a kozmosz benne nem emberi minták, hanem a számok rendje szerint valósul meg, s határozott célirányultsággal sem rendelkezik, hiszen nem arról van szó benne, hogy a természeti jelenségek az arányosságra mint célra irányulva realizálnák önmagukat, hanem éppen fordítva: a számok „működnek” ezekben. Ezért fogalmazhatott meg Arisztotelész a püthagoreusokkal kapcsolatosan az Empedoklésszel szemben gyakorolt Platón-bírálathoz hasonló tartalmú kritikát:

„Nem helyesen okoskodnak azok, akik, mint a püthagoreusok és Szpeuszipposz, abban a nézetben vannak, hogy a legjobb és a legtökéletesebb nem megy elv számba, mert hiszen a növényeknek és az állólényeknek az elvei is okok, s a tökéletesség és teljesség nem ezekben, hanem a belőlük lett dolgokban keresendő. Elfelejtik, hogy a mag más, korábbi tökéletes lényektől származik, s így nem a mag az első, hanem a tökéletes lény. Ennélfogva állíthatná valaki, hogy az ember előbb

⁴⁵ „A számoknak hatását és természetét azon erő szerint kell tekintenünk, mely a tizes számrendszerben van. Mert a tizes számrendszernek mindent átfogó, mindent átható ereje van, ez az isteni, égi s emberi életnek eredete, vezetője és kormányzója is. Nélküle minden határolatlan, bizonytalan és homályos” – foglalja össze tömören a püthagoreus világgép ezen alaptételét egyik ránk maradt töredékében Philolaosz. *Görög gondolkodók* 1. köt., 44. o.

van, mint a magva – persze nem az, amely ebből a magból lett, hanem az a másik, aki ettől a magtól származott.

Hogy tehát van valami örök, mozdulatlan és az érzéki valóktól különálló szubsztancia, az a mondottakból belátható.” (Metafizika, 1072/-1073/a)⁴⁶

Ennek ellenére a püthagoreus tanítás szervelesen összekapcsolódik misztikus mozzanatokkal: a lélekvándorlás hiedelmével, *a csillagok isteni természetének tanáival*, vagy a tűznek mint a legtisztább elemnek a kitüntetett szerepére vonatkozó elképzelésekkel és így tovább. A püthagoreus természettan így végül kifinomult, s közvetett formában mégiscsak antropomorf és teleologikus mozzanatokkal ötvöződött. Ám a számok és a geometriai formák által meghatározott harmóniát szigorúan követő kozmosz eszméjének háttérében ettől függetlenül is fölsejlik a teleológia: a természet rendje itt nem esetleges, hanem szükségszerűen meghatározzák a szigorú, s harmonikus matematikai összefüggések, és ha ez nem is a célrairányultság formájában történik, az anyagi-természeti jelenségekkel szemben elsődleges arányok és formák logikailag hasonlóan viszonyulnak az előbbiekhöz, mint a célokság struktúrájában a cél az elérésére irányuló tevékenységhez.

A kozmosz harmonikus voltáról és az égitestek isteni természetéről szóló püthagoreus tanítás maga konkrét formájában azt jelentette, hogy ezek csak a legtökéletesebb geometriai formájú pályákon, azaz körpályákon, tökéletesen egyenletes és örök mozgással mozoghatnak. *Ez a püthagoreus állítás egyszerre volt természetfilozófiai és csillagászati tétel, s meghatározó jelentőséggel bírt az európai tudomány történetében.* A matematikai arányok értelmében harmonikus kozmoszról szóló tanítás már önmagában is egy olyan radikálisan új gondolatot hozott a természetfilozófiába, melynek újdonsága egyenrangú volt a milétosziak természeteszemléjével: *a püthagoreus tanításban fogalmazódott meg ugyanis először az a gondolat, hogy a tapasztalati világ változó jelenségeiben, eseményeiben folytonosan érvényesülő, „örök”, szám- és geometriai formák szerinti összefüggéseket, arányokat kell keresni.* Az európai tudományosság ezen eszme mentén fejlődött ki, s ma is eszerint dolgozik – mégpedig nem azért, mintha újból megalkotta volna magának: azt a püthagoreus tradíciótól vette, s formálta át saját igényeinek megfelelően.

A püthagoreus tanítás eme általános vonásának a jelentőségénél azonban semmivel sem érdektelenebb e görög filozófiai iskolának az égitestek mozgására vonatkozó állítása. *Az a konkrét forma, melynek segítségével a számok, arányok és formák által jellemzett harmonikus kozmosz általános eszméje konkrétan realizálódhatott a természet megértésére irányuló püthagoreus törekvésekben, az égitestek tökéletes és egyenletes körmozgásának elve volt:* a harmonikus, matematikai kozmosz eszméje jó kétezer éven át ezen elven, mint természetes és vitathatatlan kiindulóponton keresztül vezette azt a gondolkodástörténeti pályát, melynek vonalán a mai természettudomány kialakult. A tökéletes és egyenletes körmozgás tétele ugyanis problémássá tette azt, ami eddig természetes volt, s ezért nem ösztönzött további töprengésekre: azt, hogy a bolygócsillagok – melyek közé a görögökhöz hasonlóan most beleértjük a Napot és a Holdat is – a közvetlen tapasztalat szerint csak közelítő pontossággal mozognak. „Miképpen lehetséges ez a tapasztalat, azaz mi a viszony a látszó mozgások s a föltételezett tökéletes matematikai mozgások között? Hogyan közvetíthető egymáshoz a körmozgásokkal kapcsolatos elképzelés, s a megfigyelhető mozgás? Miképpen oldható föl a közöttük feszülő ellentét?” – adódnak nyomban a

⁴⁶ Aristoteles: *Metafizika* (Hatágú Síp Alapítvány, Budapest, 1992), 305–306. o.

bolygócsillagok mozgását illetően a korábban elképzelhetetlen kérdések. Amíg Egyiptomban és Mezopotámiában már volt matematika és geometria, s ennek megfelelően *egzakt tudomány*, s amíg Mezopotámiában már végeztek szisztematikus bolygómegfigyeléseket, s ezeket kvantitatív módon, időponthoz kötött pozíció-meghatározásokként rögzítették, s ebben az értelemben megszületett már az *egzakt tapasztalati természettudomány*, addig az egyenletes körmozgás püthagoreus tézise az egzakt matematikai csillagászatot, s ezzel az *egzakt elméleti természet-tudományt* alapozta meg.

A ránk maradt töredékek, másod- és harmadlagos források alapján nem derül ki az, hogy Püthagorasz és a korai püthagoreusok megfogalmazták-e már ezt az égitestek mozgására vonatkozó előbbi kérdést – még azt sem tudjuk, hogy egyáltalában ismerték-e már annyira a bolygók látszó mozgását, hogy ennek nyomán megtehették-e volna ezt. Elképzelhető, hogy Philolaosz⁴⁷ (i. e. V. század közepe) rendszere, melyben a Föld a többi bolygóval együtt a tökéletes tisztaságú világtűz körül kering, már erre a kérdésre próbált meg választ adni,⁴⁸ jóllehet e rendszer tapasztalati következményei még inkább ellentmondanak a megfigyelhető mozgásoknak, mint a tökéletes körpályák egyszerű elmélete. Az a Herakleidésznek⁴⁹ (kb. i. e. 390–310) tulajdonított rendszer viszont, melynek középpontjában ugyan a Föld áll, ám két bolygó, a Merkúr és a Vénusz a Föld-középpontú körpályát leíró Nap körül kering,⁵⁰ egészen bizonyosan e két bolygó és a Nap látszó mozgásának ismeretén alapult: ez a konstrukció, mely választ ad arra, hogy a látszó mozgások során a Merkúr és a Vénusz mozgása miért követi a Napot, e bolygók esetében a Naphoz kötődő mozgás megokolásával egyidejűleg kvalitatív módon egyeztetni az egyenletes körmozgás tézisével a látszó mozgásokban megmutatkozó sebességváltozásokkal, s retrográd mozgásokkal is.

4. Platón

A tökéletes és matematikai értelemben harmonikus kozmosz eszméjét a püthagoreusok után Platón (i. e. 427–347) fogalmazta meg újból, immáron saját filozófiájának kontextusába ágyazva. Az élőlénynek tekintett kozmoszról a platóni filozófia azt tanította, hogy a láthatatlan – azaz érzékileg tapasztalhatatlan, megismerhetetlen – és tökéletes mintaképek közül is a legtökéletesebbet mintául véve, értelmes alkotó által formáltan jött létre, s innen ered harmonikus volta.

„Azt állítjuk viszont, hogy ami keletkezik, szükségképpen valamely ok folytán keletkezik. E mindenség alkotóját és atyját nagy dolog volna megtalálni, s ha megtaláltuk is, lehetetlen volna mindenkivel közölni, azt kell ellenben újra megvizsgálnunk, melyik mintakép szerint alkotta meg építője, vajon a mindig azonos módon létező vagy a keletkezés világába tartozó szerint-e?

⁴⁷ Püthagoreus gondolkodó, aki az i. e. V. században élt Krotonban, a püthagoreus iskola központjában. Az iskola fölösztása után vándorfilozófusként tevékenykedett.

⁴⁸ *Görög gondolkodók* 1. köt., 43. o.

⁴⁹ Sokoldalú görög író, költő, filozófus, aki dialógusairól volt nevezetes. Kapcsolatban volt Platónnal és hatottak reá a püthagoreus tanítások is.

⁵⁰ Ez a rendszer az ókori forrásokban több helyen is fölbukkan – így pl. a szmirnai Theónnál (Theonis Smyrnaei, *Philosophi Platónoci*. Expositio rerum mathematicarum... ed.: E. Heller, Lipsiae (Leipzig), Teubner, 1878. 186. o.), Herakleidész neve csak a Theón után mintegy háromszáz évvel később, az i. sz. V. században élt, s Platónhoz latin nyelvű kommentárokat író spanyol püspöknél Chalcediusnál fordul elő (vö.: W. Saltzer, *Sudhoff's Archiv* 54. 141–172. o.).

...

Természetesen mindenki előtt világos, hogy az örökkévaló mintaképet tartotta szem előtt, mert a világ a legszebb a keletkező dolgok közül, alkotója pedig legjobb minden okok közül.

...

Ez után az alapvetés után arra a kérdésre kell megfelelnünk, ami ebből következik: melyik élőlény hasonlatosságára építette fel az alkotó? Hogy valami részlegesnek a mintájára, azt nem tarthatjuk hozzá méltónak – mert tökéletlenhez hasonlítva nem lehet semmi sem szép – ; aminek ellenben a többi élőlény egyenként és a fajok szerint része, ahhoz – bátran föltehetjük – ő a leghasonlóbb mindenek között. Az ugyanis magában foglalja az összes elgondolható élőlényeket, miként ez a mi világunk bennünket s ahány egyéb élőlény csak látható, magában egyesít. Az isten tehát az elgondolhatók közül a legszebbhez és mindenben tökéleteshez hasonlót akarván létrehozni, egy látható élőlényt formált, mely magában foglal minden élőlényt, ahány csak a természet szerint születik.” (*Timaios*, V.–VI., 28c, 29a, 29b, 30c, 30d, 31a)

A platóni filozófiai kontextus részletesebb bemutatására és elemzésére itt nincs hely, ezért most csupán két, a következő részek szempontjából fontos mozzanatot hangsúlyozunk. Ezek közül az egyik, hogy a kozmosz harmóniájához és szépségéhez a püthagoreusokhoz hasonlóan Platónnál is hozzátartozik az égitestek tökéletes körpályákon történő egyenletes keringése, de ugyanakkor a püthagoreusokkal szemben ez kiegészül *a Föld mozdulatlanságának tanával*. A másik számunkra fontos mozzanat, hogy amíg a püthagoreusoknál nem találunk olyan töredékeket, melyek a körpálya-tézis és a látszó mozgások viszonyát érintenék, Platón műveiből kiderül, hogy tisztában volt az e tézis és a látszó mozgások közötti eltéréssel, s tudatosan foglalkozott az ebből adódó problémakörrel. A látható és a filozófiailag tételezett mozgások közötti ellentmondást Platón a parmenidészi szellemnek megfelelően oly módon kezeli, hogy a filozófiailag tételezett mozgásoknak ad prioritást, s a tapasztalható egyenetlen mozgásokkal szemben a láthatatlan egyenletes körmozgásokat tekinti létezőknek és valóságosoknak. A csillagászat földadata ennek nyomán nem az, hogy a látható égi mozgásokkal foglalkozzon – fejtegeti Platón –, hanem az, hogy ezeket pusztán kiindulópontnak és segédeszközöknek tekintve az égitestek érzékileg megragadhatatlan tökéletes matematikai harmóniáját kutassa; hasonlóan ahhoz, ahogyan a géométer is csupán segédeszköznek tekinti a rajzolt ábrákat egy-egy bizonyítás során, ám eközben egy pillanatig sem gondolja azt, hogy bizonyítása magukról ezekről az ábrákról szólna.⁵¹

Ezt a platóni attitűdöt a naiv empirista tudományfölfogás képviselői, s az e tudományfölfogás hatása alatt álló tudománytörténészek igen negatív módon szokták megítélni. Így például az ókori egzakt tudományok kiváló történésze, Otto Neugebauer – minden bizonnyal a filozófiai jellegű spekulatív gondolkodás iránti ellenszenvtől vezetve – azt állítja, hogy a görög matematikai csillagászat Platón ellenére fejlődött ki.⁵² Ez az állítás azonban nyilvánvalóan elfogult és téves:

⁵¹ Lásd ezzel kapcsolatban az *Előadások a természetfilozófia történetéből* című (ELTE TTK, Budapest, 1997) jegyzetnek a görög csillagászat természetfilozófiai alapjaival foglalkozó fejezetét.

⁵² „Azt a sokszor elfogadott állítást, hogy Platón 'vezette' a tudományos munkát, szerencsére a tények nem bizonyítják. Utasításainak megfogadása, melyek szerint a csillagászoknak az észleléseket spekulációkkal kellett volna helyettesíteniük, lehetetlenné tette volna a görögök legjelentősebb hozzájárulásait az egzakt tudományokhoz” – írja például, teljesen félreértelmezve mind a platóni filozófia tényleges mondaivalóját,

pusztán a bolygók mozgásának méricskélésével, és ezek eredményeinek táblázatokba foglalásával, gyűljön bár össze igen gazdag anyag ezen az úton, sohasem lehetett volna eljutni ahhoz az eszméhez, hogy ezeket a mozgásokat tökéletes és egyenletes körmozgások segítségével reprodukáljuk – a görög matematikai csillagászat pedig a Platón-kortárs és a platóni Akadémiával kapcsolatban lévő Eudoxosztól kezdve erre törekedett. Neugebauer állításával ellentétben éppen a körmozgások püthagoreus-platóni – majd később arisztotelianus – ideája volt az, mely motivációval és egyben eredményre vezető matematikai eszközökkel is szolgált ehhez a törekvéshez.

5. Eudoxosz és Kalüposz homocentrikus szférái

Eudoxosról – többek között parapegmája alapján – tudjuk, hogy ismerte a csillagos ég változásait, a Nap, a Hold és a bolygók mozgását, s tudjuk róla azt is, hogy kiváló matematikus volt, aki mint Platón ifjabb kortársa közeli kapcsolatban volt Platón Akadémiájával. Figyelembe véve azt, hogy Eudoxosz csillagászati rendszerében az égitestek mind tökéletes és egyenletes körmozgást folytatnak, már a platóni kapcsolat ismerete nélkül is abszurd volna azt föltételezni, hogy a rendszerhez Eudoxosz az egyenletes körmozgás eszméje nélkül, pusztán a körmozgástézisnek ellenmondó közvetlen tapasztalat matematikai elemzése során jutott volna el. A Platón-kapcsolat fényében pedig ténynek tekinthetjük azt, hogy éppen Platónnak a csillagászattal kapcsolatos fölfogása volt az egyik – ha nem az egyetlen – inspiráló tényező elméletének kidolgozásában. Ne hagyjuk zavartatni magunkat attól, hogy a látható mozgások szabálytalanok, s keressük az egyenletes körmozgásokat ott is, ahol a tapasztalat azt mutatja, hogy nincsenek ilyenek – foglalhatjuk össze saját szavainkkal röviden a platóni álláspont lényegét, s Eudoxosz valóban ezt csinálta. Az eudoxoszi rendszer és a platóni filozófiai között kirajzolódó kapcsolatot megerősíti még egy ránk maradt – Szimplikosztól⁵³ származó – ókori töredék is, mely szerint maga Platón kérte volna föl Eudoxoszt, hogy oldja föl a körpályatézis és a látszó mozgások közötti ellenmondást, s ily módon „mentse meg” a jelenségeket:

„Mint amiképpen Eudemosz csillagászat-történetének második könyvében állítja – valamint Szoszigenész, ki ezt Eudemosztól vette át –, a knidoszi Eudoxosz volt az, aki a görögök között elsőként foglalkozott olyan típusú hipotézisekkel, s elsőként ragadta meg azt a problémát, melyet Szoszigenész szerint Platón tűzött ki föladatul azok számára, akik ilyen dolgokkal komolyan foglalkoznak. Nevezetesen: hogy az

mind Platón és a „matematikai csillagászok” viszonyát. (Neugebauer, o.: *Az egzakt tudományok az ókorban* 165. o.) Nem kell csodálkoznunk ezután azon, hogy Neugebauer számára nehéz magyarázatot találni a görög egzakt természettudomány bámulatos eredményeire, hiszen éppen annak a püthagoraszi-platóni filozófiai tradíciónak a szerepét vitatja el, amely e sikereket filozófiai szempontból megalapozta, illetve meghatározta azt a szemléletmódot, amely nélkül ezek elképzelhetetlenek lettek volna. (Természetesen ez az értelmezésbeli probléma semmivel sem csökkenti Neugebauer konkrét tudománytörténeti fejtegetéseinek értékét, s így írásait ennek ellenére kifejezetten ajánljuk az érdeklődőknek!)

⁵³ Szimplikosz az i. sz. VI. században élt. Újplatonikus gondolkodó volt, aki a platóni Akadémia utolsó nemzedékéhez tartozott. Amikor 529-ban Justinianus császár mint pogány intézményt bezárta az Akadémiát, a perzsa udvarnál keres menedéket. Különösen értékesek számunkra Arisztotelész-kommentárjai.

egyenletes és rendezett körmozgások milyen fölvétele révén menthetőek meg a bolygómozgások jelenségei?”⁵⁴

Bár e tárgykörben ez az egyetlen – s mint láthatjuk, ráadásul igen közvetett – ókori forrásunk, a jelzett összefüggések és körülmények miatt minden okunk megvan arra, hogy hitelt érdemlőnek tekintsük. Ám ha még csupán anekdotán alapulna is az itt megfogalmazott állítás, akkor is valószínű, hogy magvával a Platón és Eudoxosz közötti valóságos kapcsolat szolgált.

„Megmenteni a jelenségeket”: ez annyit jelent, hogy ha a látszó mozgások nem reprodukálhatóak egyenletes körmozgások segítségével, akkor a harmonikus kozmosz eszméjét követve hamissá – „látszattá” – kell nyilvánítanunk azokat, hiszen a görög filozófia szellemisége szerint az értelmi belátással nyert ismeretek a bizonyosak, ezek ragadják meg helyesen a valóságot, szemben az érzéki tapasztalat segítségével szerzett benyomásokkal, melyek eleve bizonytalanok és csalókák. Ezt a beállítódást Platónnál megerősíti még az a tanítás, mely szerint a láthatatlan dolgok elve magasabb rendűek és valóságosabbak, mint a látható, tapasztalható világ dolgai. Így – Platón szellemében – abban az esetben, ha a bolygómozgásokkal kapcsolatos értelmi belátás és a megfigyelhető mozgások relációjában ugyanaz a helyzet állna elő, mint eleai Zénón (kb. i. e. 490–430) mozgásparadoxonai kapcsán, ahol az érzéki tapasztalat határozottan ellentmond a mozgás értelmi-logikai reprodukciójával, akkor a látható égi mozgásjelenségek „elbuknának”, azokat semmisnek kellene tekintenünk a tökéletes körmozgásokkal szemben. Ha viszont a matematika segítségével egyenletes körmozgásokra vezethetőek vissza ezek a közvetlen tapasztalt számára szabálytalannak, illetve pontatlannak tűnő jelenségek, akkor „megmenekülnek”: bebizonyosodik, hogy valóságosak. Ezen az utóbbi úton pedig – föltéve, hogy az epiciklus-elméletet a püthagoreusok még nem ismerték – Eudoxosz tette meg az első döntő lépést, mégpedig oly módon, s hogy a kozmosz platóni képének megfelelően a középpontban elhelyezkedő mozdulatlan Föld ideáját is megőrizte. Így ha még esetleg igazuk is van azon tudománytörténészeknek, akik szerint a „megmenteni a jelenségeket” kifejezés évszázadokkal későbből származik, maga a benne megfogalmazódó eszme nem csupán összhangban van platóni filozófiájával, hanem ezen utóbbi kétségen kívül annak egyik gondolkodástörténeti forrása, s Eudoxosz rendszere mindenképpen a platóni filozófiából következő csillagászati program megvalósításának tekinthető.⁵⁵

A megoldás kulcsa Eudoxosz számára az volt, hogy a maguk közvetlenségében szabálytalan – illetve csak közelítőleg szabályos – égi mozgásokat körmozgások összegeként értelmezte, s ennek során e körök középpontját közösnek, homocentrikusnak tekintve közös középpontjukban a mozdulatlan Földet helyezte el. Konkrétan: az eudoxoszi rendszerben a Földet a Holdtól kezdődően a csillagszféráig egymásba helyezett, egymásban forgó, illetve egymást forgató

⁵⁴ Simplicii in *Aristotelis de Caelo* (Commentaria in Aristotelem Graeca, VII. ed., I. L. Heiberg, Berolini, 1894), 488. o. Az idézetben hivatkozott *Eudémosz* i. e. 320 körül alkotott, Arisztotelész tanítványa volt, fizikával és logikával foglalkozott. Csillagászat- és matematikatörténeti műveket írt, melyekből csak töredékek maradtak fenn. Nem azonos a küproszi Eudemossal, akinek Arisztotelész egyik etikai művét ajánlotta. *Szoszigenész*: i. sz. II. századi peripatetikus filozófus volt, aki kommentárt írt Arisztotelész „Kategoriák” című művéhez.

⁵⁵ A témával kapcsolatosan vesd össze pl.: P. Duhem: *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo* (Chicago, 1969); B. R. Goldstein: *Saving the Phenomenon. Journal for the History of Astronomy* 28, Part 4 (1997. november), 1–12. o.; J. Mittelstraß: *Die Rettung der Phänomene. Ursprung und Geschichte eines antiken Forschungsprinzip* (Berlin, 1962).

homocentrikus gömbsférák veszik körül, s ezek viszik magukkal az égitesteket. A látható mozgásokat e rendszerben Eudoxosz úgy reprodukálja, hogy a szerinte szabályosan forgó állócsillagokat leszámítva minden égitesthez több – a Holdhoz és a Naphoz 3–3, a bolygókhoz 4–4 – szférát rendel, s ezek különböző irányú és sebességű forgásának következményeképpen vezetile a megfigyelt mozgásokat. Egy ilyen rendszerben kvalitatív módon megjelennek a bolygómozgások egyenetlenségei – a lassulások, a gyorsulások, a hurkok –, s Schiaparelli, olasz tudománytörténész 1875-ben megjelent tanulmányában utána számolva Eudoxosz rendszerének, bebizonyította, hogy az a Szaturnusz és a Jupiter esetében az ókori görögök számára rendelkezésre álló adatok föltételezhető pontosságához képest kvantitatív módon is viszonylag jól visszaadta a látszó mozgásokat.⁵⁶ Az egy-egy bolygóhoz Eudoxosz által hozzárendelt szféránégyes konkrétan úgy épült föl, hogy a külsőnek Eudoxosz az állócsillagok napi forgásával azonos forgási irányt és forgási időt tulajdonított; a második szféra az ekliptika dőlésszögének megfelelően az előbbtől eltérő irányban forogva a bolygó ekliptika menti mozgását adta vissza; a két belső gömb pedig – melyek közül a legbelsőre volt „erősítve” a bolygó – egymáshoz képest azonos sebességgel, de bolygónként eltérő dőlésszöggel és ellentétes irányban forogva az évenként visszatérő hurokmozgást reprodukálta.

Eudoxosz rendszerét a matematikai természettudomány megszületéseként értékelhetjük, mely mint ilyen, egyformán elődje Ptolemaiosz, Kopernikusz, Kepler és Newton elméletének és Newtonon keresztül a modern matematikai fizikának. De Eudoxosz nem csupán előd, hanem homocentrikus modellje egyben az egyik legjelentősebb lépcsőfok a görög matematikai csillagászat csúcsteljesítményét képviselő ptolemaioszi rendszerhez vezető úton.

Azt, hogy a homocentrikus szférák mennyiben Eudoxosz ötleteként születtek meg, vagy mennyiben alapult ez a konstrukció esetleg magának Platónnak a javaslatán, nem tudjuk, mint ahogyan azt sem, hogy nem vetették-e föl őket már Platón és Eudoxosz előtt is. Igen valószínű azonban, hogy ha az alapelv nem is Eudoxosztól eredt, ő volt az első, aki a leírt módon rendszert dolgozott ki a bolygómozgások reprodukálására. A forgó égi szférák fogalma viszont bizonyosan a püthagoreusoktól származik.

Ami a látszó mozgások több szabályos, egyenletes körmozgás eredőjeként való értelmezését illeti, itt még bonyolultabb a prioritás kérdése, mint a homocentrikus szférák esetében, hiszen racionális érvek hozhatóak föl amellet, hogy az epiciklusokkal történő fölbontás módszerét a püthagoreusok már Platón előtt ismerték, vagy legalábbis azok már Platón idejében ismertek voltak. Ugyanakkor egyetlen egy konkrét utalás nem maradt fönn erről az ókori szövegekben, s ezért igen valószínűtlen, hogy ezen alternatív fölbontáselv alapján Eudoxoszt megelőzve kidolgoztak volna működőképes rendszereket. Talán többet tudnánk erről, ha Eudoxosz műve a homocentrikus szférákról ránk maradt volna, hiszen a szerző minden bizonnyal megemlíttette benne – ha voltak ilyenek – elődjeit is.

Eudoxosz elméletét Kalüpposz fejlesztette tovább újabb szférák bevezetésével, aminek következtében a rendszer használhatósága a többi bolygó esetében is javult.

⁵⁶ Schiaparelli: „Le sfere omocentriche de Eudosso, di Calippo e di Aristotele” (*Publicazioni del R. Osservatorio di Brera in Milano*, No. IX. Milano, 1875). A német változat: *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik* (Erstes Heft. Leipzig, 1877).

6. Arisztotelész

Arisztotelész (i. e. 384–322) filozófiájában – a *Metafizika* „lambda” (XII.) könyvében – a homocentrikus szférák kallipposzi változatát veszi át, kiegészítve azokat az úgynevezett „visszaforgató” szférákkal. Eudoxosznál és Kalüpposznál ugyanis az egyes égitestek szférarendszerei nem befolyásolják egymást. (Ennek alapján ma néha szokták úgy értékelni elméletüket, hogy azokat szerzőik csupán matematikai modellnek tekintették, s nem tulajdonítottak neki fizikai realitást. Ez azonban vitatható.) Így pl. a Szaturnusz külső szférája csak a Szaturnuszhoz tartozó külső szférákat vitte magával, s a Jupiter szféráit már nem befolyásolta stb. Arisztotelész leírásában viszont a különböző bolygók szférarendszerei egymással is összefüggve egy átfogó, egységes szférarendszert alkotnak, s így egy külső szféra az összes hozzá képest belső szférát magával forgatja. Ezért nála egy-egy bolygó szférarendszere a fölötté lévő bolygó szféráinak forgató hatását semlegesítő „visszaforgató” szférákkal kezdődik, aminek következtében Arisztotelésznél 55 – más megfontolások alapján 47 – szféra szerepel.

A harmonikus kozmosz eszméje így Arisztotelésznél már nemcsak általában fogalmazódik meg, hanem összefonódik egy konkrét, kalkulációkra is alkalmas szféra-elmélettel. Ennek során azonban *Arisztotelész* finom *distinkciót tesz* egyrészt *a filozófia* és másrészt *a csillagászat között*, s ezzel egyben egy kutatási programot is definiál. Eszerint a homocentrikus szférák létezése, isteni mozgása és a hozzájuk rendelt mozdulatlan mozgatók létezése a filozófiai bizonyosságokhoz tartozik, melyekhez a filozófiai belátás segítségével juthatunk. *Viszont abban, hogy konkrétan hány ilyen égi szféra, s ennek megfelelően hány ilyen mozdulatlan mozgó van, nem a filozófia az illetékes:*

„... azt látjuk, hogy a mindenségnek egyszerű mozgásán kívül, melyről azt állítjuk, hogy az első és mozdulatlan szubsztancia hozza létre, vannak még más örökkévaló mozgások, ti. a bolygóké” (*Metafizika* XII/8. 1073/a), „... kell tehát, hogy e mozgások mindegyikének egy-egy önmagában mozdulatlan és örökkévaló valóság legyen a mozgója. A csillagok természete ugyanis valami örök szubsztancia lévén, az, ami őket mozgatja, szintén örökkévaló és korábbi, mint amiket mozgat: ami pedig a szubsztanciát megelőzi, annak magának is szubsztanciának kell lennie. Ebből tehát látható, hogy ugyanannyi természet szerint örökkévaló és magában mozdulatlan s az előbb említett oknál fogva kiterjedés nélküli szubsztanciának kell lennie, mint ahány ilyen mozgás van.” (1073/a-b) „... van közöttük egy első, s egy második szubsztancia a csillagok mozgásában megmutatkozó rend szerint. Azt azonban, hogy hányféle mozgás van, a csillagásztól kell megtudakolnunk, mivel a matematikai tudományok közül ez áll legközelebb a filozófiához. Ennek tárgya ugyanis a bár érzéki, de mégis örökkévaló szubsztancia, míg a többieknek, pl. az aritmetikának s a geometriának egyáltalában nem szubsztancia a tárgyuk.” (1073/b).⁵⁷

Az idézetből kitűnik, hogy itt Arisztotelész (szemben pl. a püthagoreus Philolaossal, akinél a harmonikus kozmosz eszméjéből még az égitestek száma is következik, s azonos a legharmonikusabbnak tartott tízes számmal) teret hagy a filozófiáról már levált matematikai csillagászat mint természettudomány számára. Az, hogy szférák vannak, s hogy ezeket a szellemi

⁵⁷ Arisztotelész: *Metafizika*, 306–307. o.

természetű mozdulatlan mozgatók mint szubsztanciák, tökéletes egyenletességgel és örök mozgással mozgatók, Arisztotelész szerint az értelmi belátáson alapul, s ezért nem a tapasztalat vagy az asztronómia, hanem csupán a filozófia az illetékes igazságukat illetően. A szférák, s ebből következően a mozdulatlan mozgatók számának meghatározása azonban immáron nem a filozófia, hanem a matematikai csillagászat föladata, melyet, bár szintén az értelem tudománya, konkrét részleteiben már mégiscsak a tapasztalat befolyásol abban, hogy hány szférát vesz föl, s milyen irányú és mértékű sebességeket tulajdonít ezeknek a látható jelenségek megmentésének érdekében. Arisztotelész ezáltal Platónhoz hasonlóan csillagászati programot fogalmazott meg, de egyúttal határozott játékeret is nyújtott a csillagos éggel kapcsolatos vizsgálódások számára ahhoz, hogy azok a tapasztalatot figyelembe véve, s a filozófiától részben elszakadva, önállóan fejlődjenek. Arisztotelész ily módon rést nyitott a tapasztalat teoretikus visszahatása számára, s az egzakt természettudomány – kezdetben éppen a matematikai csillagászat formájában – megvetette lábát e részben, hogy azután egyre inkább kitágítsa azt: egzakt természettudományunk az így egyre szélesülő arisztotelészi részben jött létre, s létezik ma is. Ennek során először ugyan éppen az arisztotelészi homocentrikus szférák váltak fölöslegessé, hiszen az epicikusok és az excenterek vegyék át helyüket, majd végül közel két évezred múltán eltűntek a körmozgások is, és a Kepler-féle törvényeknek megfelelő mozgásokkal helyettesítsék őket. Ám végig megmaradt az arisztotelészi ismeretelméleti struktúra, s attitűd: ma sem a tapasztalat, hanem az értelem által előfeltételezett alapelvek a mérvadóak; s ma is az az elmélet föladata, hogy ezekhez közvetítse a tapasztalatot, míg ők maguk játékeret biztosítanak e közvetítéshez. Igaz az alapelvek metafizikai megalapozása mára háttérbe szorult, s ennek megfelelően abszolút, kétségbevonhatatlan jellegük is megszűnt: amennyiben az alapelvek egy-egy rendszerét követve túl nehézkessé és bonyolulttá válik a tapasztalat földolgozása és teoretikus értelmezése, új alapelvek jelenhetnek meg helyette, s ezeket általában már nem a metafizika adományozza. Ám a kutatást akkor ezek az új, szintén nem tapasztalati jellegű alapelvek fogják vezetni, s így az értelmi oldal prioritása a tapasztalattal szemben ezután is megmarad.

Valahol mélyen tehát a mai egzakt természettudományok számára is az arisztotelészi feladat adott: az értelmi megfontolások alapján föltételezett struktúrák teoretikus konkretizálása és differenciálása a tapasztalat teoretikus reprodukciója során. Eközben pedig ma sem szokás az egész koncepció mögött rejlő legalapvetőbb elvet, a matematikai kozmosz püthagoreus–platóni–arisztotelészi ideáját kétségbe vonni, hiszen ez a matematikai természettudományok összeomlását, értelmetlenné válását jelentené. Sőt, az újkori természettudomány ebből a szempontból a püthagoreusokhoz visszatérve kifejezetten radikalizálta Platón és Arisztotelész kozmológiáját: a matematikai jelleget az egész természet relációjában – azaz a földi világban is – föltételezte, amikor a „matematika nyelvén írott könyv” metaforáját nemcsak a csillagvilágra, hanem a természet egészére alkalmazta.⁵⁸

Az előbbieken láttuk, hogy Arisztotelész nemcsak a kozmosz matematikai jellegű fölépítettségét, harmóniáját tekintette szükségszerűnek, hanem azokat a konkrét matematikai jellegű elemeket és struktúrákat is – így az egyenletes körmozgásokat és a homocentrikus szférákat – melyek által e matematikai jelleg konkrétan realizálódik. Másrészt viszont azt, hogy pontosan hány ilyen elemből, s milyen konkrét elrendezésben épül föl a csillagvilág rendszere, esetlegesen tartotta, ily módon biztosítva, hogy az elméletalkotás során szerepet kapjanak a

⁵⁸ Ez a „radikalizáció” nem előzmények nélküli: megtalálható a sztoikusoknál, s a kora középkori ún. „kalkulátoroknál” is.

megfigyelések és az ezeken alapuló tapasztalat. A mai természettudományos gondolkodás Arisztoteléstől eltérően a természet rendjének alapul szolgáló konkrét elemek és struktúrák mibenlétét is esetlegesnek tekinti, ám az egy pillanatnyilag sem kétséges számára, hogy ilyen elemek és struktúrák léteznek és matematikai összefüggésekkel jellemezhetőek. A modern természettudományon belül is érvényes az a program, mely szerint a teoretikus természettudománynak elsősorban ezeket a matematikai összefüggéseket kell kutatnia. Így a modern egzakt tudomány kutatási modelljében, beállítódásában – sőt: céljaiban is – a filozófiai oldalról Platón és Arisztotelész által megalapozott görög matematikai csillagászat örököse.

7. A világ és a kozmosz. A démokritoszi és az arisztotelészi kozmológiai modell

Mint láttuk, amíg az ókori görögségnél egyik oldalról a milétozi természetfilozófiában a célirányultság nélküli, vak, véletlenszerű, s a természet öntevékenysége által jellemzett kozmosz eszméje alakult ki, addig a püthagoreus iskola a harmonikus, matematikai szerkezetű, s isteni természetű kozmosz eszméjét képviselte, mely azután Platónnál és Arisztotelésznél határozottan célirányult jelleget kapott. Ugyancsak Platónnál és Arisztotelésznél válik határozottá az égi és a földi régió dualizmusa. A milétoziak kozmoszát jellemző egyneműség viszont a leukipposzi és démokritoszi atomista kozmológiában teljesebbé válik.

Az atomista kozmológiában ugyanakkor megjelenik egy további eszme is, mely azt a későbbi platóni és arisztotelészi világegyetemtől fundamentálisan megkülönbözteti: a *világok végtelen sokaságának tana*, melyről eddig még nem volt szó.

Néhány forrás szerint a világok sokaságának tanát már az atomisták előtt a milétoziak – így Anaximandrosz és Anaximenész – is képviselték, ám ezek hitelessége igen bizonytalan. Azt azonban bizonyosan tudjuk, hogy a püthagoreusok iskolájában – az indiai Brahma-tanhoz hasonlóan – jelen volt a világ időbeli ciklikus ismétlődésének eszméje, Empedoklésznél pedig (legalábbis természetfilozófiájának szakmai körökben általánosan elfogadott reprodukciója szerint) a világegyetem időben a rendezetlen akoszmia és a parmenidészi tökéletes világegyetemnek megfelelő rendezett állapot, a szfairosz között oszcillál, s ennek során alakul ki a két állapot között félúton újra és újra a mi világunknak megfelelő állapot. Nem világos az, hogy ez az újra és újra visszatérő állapot Empedoklésznél teljesen azonos-e a korábbi hasonló állapottal, s így ugyanannak a világnak örökös ismétlődéséről van-e szó, vagy csupán csak jellegükben hasonló, de a maguk konkrétságában egymástól különböző világok követik időben egymást. Bármelyik lehetőséget is fogadjuk el azonban, Empedoklész kozmológiáját a világok végtelen időbeli egymásra következése jellemzi. Föltehető, hogy Anaximandrosz, Anaximenész, Hérakleitosz (kb. i. e. 540–575) és Anaxagorasz is a világok ilyen, időben egymásra következő sokaságát tanították.

A világok egyidejű, térbeli sokasága –, mely valószínűleg az időben egymást követő világok térbeli kivetítésével jött létre – egyértelmű és határozott tanításként a görög atomistáknál jelenik meg. Kozmológiájuk szerint a kozmosz végtelen és végtelen sok világot tartalmaz. E világokat – mint láttuk – a zuhanó atomok konfigurációi hozzák létre. Egy ilyen kozmológiában ezért – bár Leukipposztól és Démokritosztól nem maradt fenn olyan szövegtöredék, mely ezt tudatosan megfogalmazná –, hangsúlyozottan jelenik meg a kozmosz dezantropomorf, ateleologikus jellege: hiszen itt világunk *csak egy* világ a kozmosz végtelen sok világa közül, története és rendje *csak egy* történet és rend a végtelen sok más világ hasonló története és rendje között, s így az még esetlegesebbé, még véletlenszerűbbé válik, mintha csak egyetlen egy dezantropomorf, célirányultság nélküli világot – azaz a mi világunk és a kozmosz azonosságát – föltételeznénk.

Később Epikurosnál (i. e. 341–270) és Lucretius-nál (i. e. 98–55) kifejezetten hangsúly kerül az ilyen végtelen sok véletlenszerűen keletkezett világot tartalmazó kozmosz célirányultság nélküli, dezanropomorf – az ember „kozmosz közérzete” szempontjából fontos – jellegére.

Bár a kozmoszt világunkkal mint az egyetlen világgal azonosító kozmológia és a célirányult, harmonikus kozmosz eszméje között, egyik oldalról, valamint a sokvilág-hipotézis és az ateleologikus, véletlenszerű, nem isteni természetű kozmosz ideája között, másik oldalról, nincsen logikai kapcsolat, tendenciájában a világok térbeli sokaságának hipotézise az előbbi összefüggések következtében jobban összhangban van a vak és dezanropomorf kozmosz képzetével, míg a „kozmosz = az egyetlen egy világ” tézise kedvezőbb a rendezett, harmonikus világ eszméje számára. Így nem véletlen, hogy Platónnál és Arisztotelésznél hangsúlyozottan szerepel az egyetlen egy világ tétele.

A harmonikus, teleologikus és a dezanropomorf, vak, véletlenszerű kozmosz ideája mentén az arisztoteléi és az atomista kozmosz két – minden vonatkozásában poláris – kozmológia alakult ki a görög filozófiatörténetben. Arisztotelész kozmológiájában a tapasztalható világ a Földdel, a bolygókkal – ezek közé beleértve természetesen a Napot és a Holdat is – és a csillagokkal maga az *egyetlen egy* világ, amely ezért azonos a világegyetemmel, a kozmosz, melynek rendje hierarchikus és dualisztikus: a Hold alatti romlandó és tökéletlen földi világ szemben áll a Hold fölötti tökéletes, változatlan és ezért magasabb rendű világgal, s a külsőbb szférák ezen belül is nemesebbek, mint a beljebb lévők. Ez a rend tehát Arisztotelésznél – de már Platónnál is – egyszerre a mi világunknak és egyben a vele azonos kozmosznak a rendje. Ez az *egyetlen* létező rend a természetben, a földi és az égi világ együttesében: az *egyetlen* rend, mely ugyanakkor *értelmes és célirányult*.

Az atomista kozmológiában ezzel szemben a mi világunk – azaz a tapasztalható földi és égi világ együttese, magát a csillagszférát is beleértve – *csak egy* világ mind a végtelen sok térbeli, mind a végtelen sok időben egymást követő világból, rendje –, mely *véletlen, vak, célirányultság* nélküli, esetleges, nem matematikai jellegű rend – csak a végtelen kozmosz egy parányi, elenyésző térrégiójának rendje. Ugyanígy, keletkezése nem a kozmosz keletkezése, hanem csak egy világ keletkezése a sok világ közül, mely a végtelen kozmosz mindennapos eseménye, s ugyanakkor élete a Földdel, a bolygókkal, s a csillagokkal csupán átmeneti, egyszer el fog pusztulni, majd más világok keletkeznek helyette. Mivel az egész kozmosz kavargó atomokból áll, nemcsak a mi világunk, hanem valamennyi világ ilyen, s maga a kozmosz is véletlenszerű, egyetemes rend és értelem nélküli, bár az általa tartalmazott világgal szemben örök és elpusztíthatatlan.

Igen fontos, hogy hangsúlyozzuk: e poláris kozmológiák ismeretelméletileg is ellentétben állnak egymással. Ugyanis a platóni és az arisztotelészi kozmológiában a tapasztalati világ maga a kozmosz. Az atomista kozmológiában viszont mindaz, amit tapasztalhatunk – azaz a „mi világunk” – pusztán a létezők elenyészően kis hányadát képezik, s a végtelennek tekintett kozmosz kavargó atomok által jellemzett véletlenszerű „rendjét”, valamint a mi világunkon kívüli végtelen sok többi világ létezését e kozmológia csak az értelem által, minden tapasztalati alapot nélkülözve – mai kifejezéssel, pusztán „spekulatív módon” – tételezi. Ezt figyelembe véve itt visszajára fordul a platóni–arisztotelészi tradíció és az atomista filozófia viszonya: a sokszor spekulativitással, a kozmosz újramitizálásával, sőt, néha irracionizmussal jellemzett platóni–arisztotelészi kozmológiában az élményként megélt, tapasztalható világnak van prioritása, szemben az atomistákkal, ahol az élményként adott világ csak jelentéktelen sziget a kozmosz spekulatív módon föltételezett rendjében és végtelenségében, végtelen sok szintén spekulatív módon föltételezett hasonló sziget között. *Az atomista tézis a világok sokaságán ugyanis nem a*

naprendszerek sokaságát értette – a „naprendszer” fogalom többes száma ekkor még jelentéssel sem bírt –, hanem a csillagokat a mi világunk részének tekintette, s a másik világokat a csillagszféránkon kívül föltételezett, s ezért a tapasztalat számára elérhetetlen végtelen kiterjedésű térrégióban helyezte el.

A kozmoszt világunkkal azonosító arisztotelianus kozmológia, mint tudjuk, Arisztotelész után közel kétezer évig uralta az európai gondolkodástörténetet. S ha a világok sokaságának eszméje mint logikai lehetőség föl is vetődött közben a skolasztikában, csak az újkorban elevenedik föl újra tényleges kozmológiai teóriaként. Ám ez az újkori sokvilág-kozmosz gyökeresen különbözni fog a görög atomisták kozmoszától: ismeretelméleti oldalról nem az atomista, hanem az arisztotelészi tradíció folytatása lesz.

8. A hellenisztikus csillagászat

a) *Epiciklusok, excenterek és a ptolemaioszi rendszer*

Mint utaltunk rá, a homocentrikus szférákkal kapcsolatos arisztotelészi program követők nélkül maradt. Ebben döntő szerepe volt annak, hogy a maguk közvetlenségében szabálytalan bolygómozgások egyenletes körmozgásokra történő fölbontására létezett egy másik, matematikailag elegánsabb, s könnyebben kezelhető módszer, az epiciklusok és az excenterek módszere. Ez a módszer egyben megoldást kínált a bolygók változó fényességének problémájára is, melyet a görögök a mai csillagászathoz hasonlóan a bolygótávolságok változásaira vezettek vissza, hiszen ezzel a módszerrel nemcsak a pálya menti, s a rá merőleges, hanem a mélységbeli ingadozások is reprodukálhatóak.

Az epiciklus nem más, mint egy körpályán egyenletesen mozgó matematikai pont körüli, a szóban forgó körpályánál kisebb sugarú kör, mely együtt mozog középpontjával. Abban az esetben, ha az előbbi körpálya sugara kisebb, mint a rajta mozgó ponthoz tartozó kör sugara, excenterről beszélünk. Az epiciklus esetében a nagy kör neve: defferens. Az epiciklusok, illetve az excenterek egymásba skatulyázhatóak, így egy epiciklus tekinthető egy újabb epiciklus defferensének, vagy egy újabb excenter belső körének, és így tovább. A csillagászati alkalmazásban a bolygók mindig a legkülső epicikluson vagy excenteren mozognak, mégpedig oly módon, hogy a „külső” bolygók – azaz a Mars, a Jupiter és a Szaturnusz – esetében az epiciklus középpontja és az epicikluson keringő bolygó között húzott egyenes mindig párhuzamos a Föld–Nap tengellyel, míg a Merkúrnál és a Vénusznál az epiciklus-középpont mindig a Föld–Nap tengelyen marad. A Pergéből származó neves matematikus, Apollóniosz bebizonyította, hogy e csillagászati alkalmazásokban a külső bolygók excentere mindig helyettesíthető egy epiciklussal, illetve megfordítva, az epiciklus egy excenterrel. Mivel a belső bolygók esetében epiciklusokra van szükség, e két lehetőség közül a külső bolygók esetében is hagyományosan az epiciklusokat szokták választani.

Az, hogy az epiciklusok és az excenterek fogalma kitől – illetve kiktől – származik, ma vita tárgyát képezi. Egyes „maximalista” interpretációk szerint az epiciklusokat már a püthagoreusok is ismerték. Ezt az álláspontot képviseli pl. van der Waerden, aki szerint – püthagoreus hatásra – Platón *Állam* című művében utalást találunk az epiciklusokra a túlvilágot megjárt Er katona elbeszélésében. Az epiciklusok e korai eredetére vonatkozó vélemény azonban kisebbségi álláspont a tudománytörténészek között. Annyi azonban bizonyos, hogy az epiciklusok és az

excenterek matematikájával először részletesen pergei Apollóniosz (i. e. 260–190)⁵⁹ foglalkozott, aki egyben alkalmazta is ezeket a bolygók mozgására. Apollónioszt követve ugyancsak az epiciklusok és az excenterek elméletét használta a kiváló csillagász, Hipparkosz⁶⁰ (kb. i. e. 190–125), s szintén ezen az elméleten alapul Ptolemaiosz⁶¹ (i. e. 120–160) több, mint kétszáz évvel későbbi nevezetes munkájának, a görög csillagászat, s egyben a görög természettudomány csúcspontjának, a „Szüntaxisz”-nak Nap-, Hold- és bolygóelmélete.⁶² Ez az elmélet, mely a „Szüntaxisz” utolsó fejezeteiben található meg, a Föld mozdulatlansága és a tökéletes, egyenletes sebességű körmozgások axiómájának alapján – azaz a platóni programnak megfelelően – oly pontossággal adja vissza a bolygók mozgását, hogy az a Platón és Eudoxosz idejében föltételezhetően rendelkezésre álló adatoknál jóval gazdagabb és pontosabb Ptolemaiosz korabeli adatokkal is összhangban van. Igaz, e siker érdekében Ptolemaiosznak szüksége volt egy elvi jellegű kompromisszumra: be kellett vezetnie az epiciklusok és az excenterek mellett egy új matematikai eszközt, az úgynevezett ekvánt – „kiegyenlítő pont”-ot –, valamint a Földet a bolygódefferensek középpontján kívül kellett elhelyeznie, aminek következtében rendszere igazából nem geocentrikus, hanem pusztán geostatikus. Ami az ekvánt illeti, ez a bolygók mozgása során föllépő sebességváltozások kvantitatív reprodukálásához szükséges, mivel az epiciklusok és az excenterek alkalmazása önmagában kevés volt ehhez. Maga az ekvánt egy olyan pont, mely a defferenskörön belül helyezkedik el, féltengelynyi távolságra középpontjától, s funkciója az, hogy a defferensen keringő test vagy epiciklusközéppont belőle tekintve mozogjon egyenletes szögsebességgel. Más szavakkal megfogalmazva: a bolygópályák tökéletes kör alakjának és a bolygómozgások egyenletességének viszonyítási pontja az ekvántok bevezetésével elválik egymástól, s az *egyenletes sebesség nem a középpont, hanem az ekvánt relációjában lesz igaz*. Azaz középpontból nézve a mozgás már többé nem egyenletes, s az ekvánt szerepe éppen az, hogy ennek ellenére megmentse az egyenletes mozgás tézisé: egy olyan viszonyítási pont, melyből tekintve a mozgás mégiscsak egyenletesként jelenik meg.

⁵⁹ Neves görög matematikus és csillagász, aki az i. e. III. században alkotott. Tőle származik az ellipszis, a parabola és a hiperbola elnevezés, ő dolgozta ki a kúpszeletek és a húrok, valamint a csillagászatban használt excenterek és epiciklusok matematikai elméletét.

⁶⁰ Neves görög csillagász az i. e. II. századból. Apollóniosz matematikai csillagászatát alkalmazta a Nap és a Hold mozgására. Ő fedezte föl a precessziót, s összeállított egy igen részletes csillagkatalógust, melyet Ptolemaiosz is fölhasznált.

⁶¹ *Ptolemaiosz*, Klaudiosz: kiváló görög matematikus, csillagász és geográfus az i. sz. II századból, aki Alexandriában tevékenykedett. Fő művében, a „Syntaxisz Matematika”-ban – arab nevével az „Almagest”-ben – található meg híres rendszere, mely a kor viszonylatában igen nagy pontossággal tette lehetővé a bolygópályák előre történő kiszámítását.

⁶² Ptolemaiosz művének eredeti címe „MATÉMATIKOSZ SZÜNTAXOSZ”: „Matematikai gyűjtemény”. Az arabok „a legnagyobb”-nak (érsd: a legnagyobb műnek) nevezték, s innen a ma gyakrabban használt „Almagest” elnevezés („Al”: arab névelő; „magiszté”: a görög „nagy” fokozása). A mű eredeti szövegének modern kiadása, illetve angol és német nyelvű fordítása: Ptolemaiosz: *Opera quae exstant omnia* 1. vol.: *Syntaxis mathematica* (ed. by Heiberg, Lipsias [Leipzig], Teubner, 1898, 1903); Ptolemaiosz, Klaudiosz: *The Almagest*; Copernikus, Nicolaus: *On the revolutions of the heavenly spheres*; Kepler: *Epitome ...* (Great books of the Western World 16, Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952); Ptolemaiosz: *Almagest* (Trans. by G. J. Toomer. London 1984); Ptolemäus: *Handbuch der Astronomie* 1–2. Bd. Deutsche Übersetzung von Karl Manitius (Teubner, Leipzig, 1963).

A ptolemaioszi rendszernek volt egy másik, tapasztalati jellegű, s az ekvánsokhoz képest partikuláris fogyatékosága, mely a Hold mozgásával volt kapcsolatban. A rendszer által leírt Hold-mozgás szerint ugyanis a Hold–Föld távolság oly nagy mértékben váltakozik, hogy ennek során a Hold látszó átmérőjének hol felére kellene csökkennie, hol pedig kétszeresére növekednie. Ptolemaiosz nyilván tisztában volt a Hold mozgásáról adott elméletének ezzel a defektusával, ám mivel a Hold csillagok közötti látszó pályáját jól visszaadta, minden bizonnyal kompromisszumként beletörődött ebbe a kellemetlenségbe.

Ptolemaiosz rendszere e két „szépséghibá”-jával is a matematikailag szerkesztett, tökéletes kozmosz eszméjének magas színvonalú kidolgozása, mely a kor csillagászati méréseinek pontosságát figyelembe véve valóban „megmenti” a jelenségeket a platóni értelemben, s ezért nem véletlen, hogy megszületését követően közel másfél évezreden át a legalapvetőbb csillagászati – és egyben természettudományos – munkának számított. Figyelembe véve azt, hogy csak a ptolemaioszi rendszer alapján fogalmazódhattak meg azok a problémafölvetések és kérdések, melyekre először Kopernikusz rendszere, majd ezt követően Kepler törvényei adták meg a választ, valamint azt, hogy a Kepler-törvények szolgálták alapul az egyetemes tömegvonzás newtoni elméletéhez, *méltán állíthatjuk, hogy a modern fizika történelmi alapjait a ptolemaioszi rendszer fektette le*, s így mai fizikánk ennek a rendszernek leszármazottja és örököse. Szemben azzal a vulgáris tudománytörténeti minősítéssel, mely ebben az elméletben a hamis tudományos elmélet paradigmáját vagy a tudományos „melléfogás” – esetleg egyenesen az „áltudomány” – mintáját látja, Ptolemaiosz rendszerében nemcsak az ókori görög tudomány zseniális csúcsteljesítményét kell tisztelnünk, hanem egyben egy olyan művet is, mely az egyik kulcsfontosságú láncszemet jelenti a mai tudományhoz elvezető gondolkodástörténeti úton. Persze mindez nem csupán Ptolemaioszt dicséri: mint láthattuk, Ptolemaiosz csak az összegző és a beteljesítő volt, rendszere valójában a görög kultúra, a görög gondolkodástörténet gyümölcse, melynek kapcsán nemcsak annak szerzőjét kell méltatnunk, hanem vele együtt a püthagoreusokat, az eleatákat, Platón, Arisztotelészt, Eudoxoszt, Kalüpposzt, Apollónioszt, Hipparkoszt, s még minden bizonnyal sokan másokat is, kiknek neve nem maradt fenn az utókor számára.

Ptolemaiosz elméletével kapcsolatosan még két dolgot kell röviden megemlítenünk.

Ezek közül az egyik a rendszerben szereplő matematikai entitásoknak – a defferenseknek, az epiciklus- és excenterközéppontoknak, az ekvánsoknak, a segédepicikusoknak és segédexcentereknek – a realitásával kapcsolatos probléma. Általános az a tudománytörténeti fölfogás, amely szerint Ptolemaiosz rendszerét mind egészében, mind pedig részleteiben csupán matematikai eszköznek kell tekintenünk, s a görögök is csupán ilyennek tekintették. Ha ezt az állítást úgy kell értenünk, hogy a matematikai köröknek nem feleltek meg szférák, a matematikai pontoknak pedig fizikai pontok, illetve testek, akkor ezt az állítást természetesen helyesnek kell elfogadnunk. Sőt, ez az állítás nemcsak a rendszer előbbi mondatunkban jelzett tulajdonságaiból következik, hanem abból is, hogy a bolygópályák mérete és sorrendje Ptolemaiosz rendszerén belül gyakorlatilag közömbös, csak arra kell ügyelnünk, hogy e pályák ne keresztezzék egymást, illetve elég nagyok legyenek ahhoz, hogy a Föld felszínén való mozgás eredményeképpen föllépő parallaxiseffektusok elhanyagolhatóak legyenek.

Ám ha a Ptolemaiosz rendszerét jellemző matematikai entítások realitását oly módon vonjuk kétségbe, hogy azt állítjuk: a bolygók valójában nem epiciklusokon keringenek, s ezért ezen utóbbiak nem valóságos létezők, hanem csupán kalkulációs eszközök, akkor itt a „valóságos” és a „létező” szavak jelentésének függvényévé válik állításunk helyessége. Mai fölfogásunk szerint a bolygók fölbontás nélküli, térben leírt pályagörbéje a valóságos mozgás, e pályagörbe a létező, míg

e mozgás, illetve pályagörbe fölbontása körökre, epiciklusokra stb. pusztán eszköz, csak matematikai kalkuláció. Platón szellemében azonban a matematikai fölbontás során kapott, nem-tapasztalható, tökéletes körpályák a „valóságosak”, a „létezők” a tapasztalható, s megfigyelhető pályával szemben. Így értelmezve a dolgot, az epiciklusok és az excenterek, illetve a rajtuk mozgó matematikai pontok valóságosnak tekintendők, s ezen még az sem változtat, hogy a Ptolemaioszt követő görögök pusztán matematikainak tekintették őket: Platón számára éppen a tisztán matematikai az, ami valóságos – vagy legalábbis ami „valóságosabb” – a látható létezőkkel szemben.

Viszont egészen más a helyzet, ha nem Platón, hanem Arisztotelész alapján közelítünk a problémához. Arisztoteléiánus értelemben a valóságos a „fizikai”, azaz esetünkben a konkrét égitestek és szférák. Mivel Ptolemaiosz elméletében a köröknek nem felelnek meg szférák, a pontoknak testek, ezek az arisztoteléiánus értelemben véve csak „matematikai”-ak, melyekkel szembeállítható a „fizikai” mint valóságos. *Az arisztoteléiánus fogalmakat használva a matematikai és a fizikai szétválik egymástól, s ennek során a ptolemaioszi elmélet paradigmatis példát szolgáltat egy olyan sikeres matematikai elméletre, mely nem föltétlenül írja le a valóságot.* Az arisztoteléiánus tradíció tisztában volt ezzel. Ennek nyomán tudatosan vetette föl a ptolemaioszi rendszer entitásainak realitásával kapcsolatos kérdést, s megalkotta e rendszer „szféraváltozatát”-t: egy olyan kozmológiát, melyben Ptolemaiosz köreinek reális fizikai szférák felelnek meg. (Pl. ilyen rendszer kapcsolódik alexandriai Theón⁶³ nevéhez.) Természetesen ez a szférarendszer nem az eudoxoszi–kalüpposzi rendszer továbbfejlesztése volt, hiszen az epiciklusoknak és a defferenseknek fogalmukból következőleg nem feleltethetőek meg homocentrikus szférák.

A másik dolog, amit meg kell említenünk Ptolemaiosz elmélete kapcsán, a bolygópályák számítása során ma használt elmélet és a ptolemaioszi rendszer viszonyát érinti. Ezzel kapcsolatban egyrészt meg kell jegyeznünk azt, hogy a modern fizika gravitációelmélete, az einsteini általános relativitáselmélet szerint a vonatkoztatási rendszerek egyenértékűek, s így ugyanúgy jogosult a földközéppontú rendszert választanunk, mint a napközéppontút. Ami pedig a konkrét számításokat illeti: mivel a bolygómozgások ma általánosan használt és tanított Kepler-féle elmélete is periódusságot föltételez, Fourier tételének segítségével bebizonyítható, hogy elegendő számú epiciklus bevezetésével Ptolemaiosz rendszere a mai rendszerrel azonos pontosságú rendszerré tehető. Így nincsen értelme annak, hogy a Ptolemaiosz-féle és a mai rendszert igaz-hamis relációba állítsuk: az előbbi eredeti változatában pusztán pontatlanabb, mint a ma használatos, ám ugyanolyan pontossá tehető mint a mai rendszer, s az elvileg megalkotható pontosabb változat ugyanolyan „igaz” – csak éppen jóval bonyolultabb – lesz, mint a Kepler-féle napközéppontú rendszer.

Ugyanakkor a bolygók pályájának számításakor a ma használatos kepleri elmélet is csak közelítő, hiszen a bolygók mind Newton, mind Einstein elmélete szerint valójában nem periodikusan, hanem a Nap felé közelítő spirális mozgással haladnak, s egyszer belezuhannak a Napba, keringésük örökre véget ér. Ezt a Nap felé közelítő effektust azonban a bolygópályák számításakor jelenleg sem vesszük figyelembe, s így ebből a szempontból a napjainkban használatos Kepler-féle napközéppontú rendszer ugyanúgy „hamis”, mint a ptolemaioszi elmélet.

⁶³ Alexandriai Theón: görög matematikus és csillagász a hellenisztikus Alexandriából. Kommentárokat írt Ptolemaioszhoz.

b) A görög hellenisztikus csillagászat további eredményei

Ptolemaiosz „Szüntaxisz”-a nemcsak a bolygómozgások elmélete szempontjából jelentős. Találhatunk pl. benne egy csillagkatalógust, mely tudománytörténeti megfontolások alapján nagy valószínűséggel Hipparkosz listájának ptolemaioszi változata, s mint ilyen, a leggazdagabb ránk marad ókori katalógus. De tartalmazza a Szüntaxisz a korabeli csillagászati műszerek leírását is. Mivel Ptolemaiosz gyakran hivatkozik elődeire, s reprodukálja megfontolásaikat, a Szüntaxisz egyben csillagászat-történeti vonatkozásban is fontos forrásmű.

A görög hellenisztikus csillagászatnak tehát a bolygók mozgásáról alkotott elmélet mellett másik fontos teljesítménye a Ptolemaiosz közvetítésével fennmaradt hipparkoszi csillagkatalógus. Mivel a csillagok pozíciójának szisztematikus megfigyelését és összegyűjtését nem Hipparkosz kezdte, megemlítendő itt még Timocharis és Arisztüllosz neve, kikről tudjuk, hogy már Hipparkosz előtt csillagkatalógusokat állítottak össze. A csillagok katalogizálásának foglalásának egyik motivációja minden bizonnyal az volt, hogy ily módon referencia-rendszert nyújtsanak a bolygómozgások megfigyeléséhez. Mint már említettük, az eudoxoszi rendszer pontosságán Kalüpposz korrekciója jelentősen javított, s e korrekció nyilván a bolygómozgások részletes ismeretén alapult. Arról nincsen biztos tudásunk, hogy milyen forrásból származtak ezek az ismeretek. Nem tudjuk, hogy rendelkezésre álltak-e már ekkor korábbi időszakok görög megfigyelésein alapuló anyagok, mint ahogyan azt sem, hogy maga Eudoxosz és Kalüpposz végzett-e, s ha igen mennyire behatóan és szisztematikusán, ilyen megfigyeléseket.

A hellenisztikus korszakról viszont már bizonyosan állíthatjuk, hogy fejlett megfigyelési csillagászat jellemezte, melynek részét képezte természetesen a bolygómozgások követése is: e tevékenység központja más természettudományos vizsgálatokhoz hasonlóan az Alexandriában alapított nevezetes Muszeon volt. De nemcsak itt folyt jelentős csillagászati tevékenység: Hipparkosz és Arisztarkhosz⁶⁴ (i. e. III. század) Számoszban dolgozott. S bár a Hipparkosz és Ptolemaiosz között eltelt több, mint kétszáz év csillagászatáról nincsenek forrásaink, a megfigyelések minden bizonnyal ezen idő alatt sem szüneteltek.

Mindezek ellenére föl kell tennünk azt, hogy Ptolemaiosz rendszerének nemcsak görög – s igen nagy valószínűséggel nem elsősorban görög – megfigyelések szolgáltak alapul, hanem a babilóniai táblázatok is. A babilóniai szisztematikus megfigyelések ugyanis jóval régebbre nyúltak vissza – egészen az i. e. VII. századig –, s folyamatosak voltak, így a görög eredmények nem pótolhatták őket. De tudjuk azt is, hogy a görög és a babilóniai csillagászok között eleven kapcsolat állt fenn, hiszen volt olyan babilóniai csillagász, aki áttelepült Görögországba csillagjólást tanítani, s ekkor minden bizonnyal magával hozott megfigyelési táblázatokat is. Ennél közvetlenebb utalással szolgál számunkra a kapcsolatról maga Ptolemaiosztól: a „Szüntaxisz” is utal ugyanis babilóniai forrásokra.

A bolygómozgások megfigyelése és a csillagok pozíciójának szisztematikus összegyűjtése tehát – akár a babilóniai megfigyelések átvételével, akár saját megfigyelések alapján – a hellenisztikus csillagászat lényeges összetevőjét képezte. E korszak megfigyelő csillagászatának csúcsteljesítményét azonban mégsem az ezekkel kapcsolatos eredmények jelentették, hanem a precessió Hipparkosz általi fölfedezése. Mint ma közismert, a Föld tengelyforgása során bűgöcsigaszerű mozgást ír le, aminek következtében a forgástengely iránya az állócsillagok képzetes szféráján egy 26 000 éves körpályát rajzol végig, s az ekliptika és az égi egyenlítő

⁶⁴ Kiváló görög csillagász az i. e. III. századból, a Nap-középpontú bolygórendszer lehetőségének első megfogalmazója. Kísérletet tett a Nap távolságának meghatározására.

metszéspontja évente 8 szögmásodpercet elmozdul. Hipparkosz a korábbi megfigyeléseknek és saját megfigyeléseinek összevetése alapján észrevette a nap-éj egyenlőségi pont ezen helyváltoztatását, s így mint látszó mozgást fölfedezte a precessziót.

Mint az előbb már utaltunk rá, a ptolemaioszi rendszerben a távolságoknak nem volt jelentősége. Ennek következtében az égitestek távolságával foglalkozó vizsgálódások és a bolygómozgások reprodukciójára irányuló kísérletek függetlenek voltak egymástól, ami természetesen nem jelenti azt, hogy nem kapcsolódhattak olykor azonos személyekhez.

A csillagászati távolságok meghatározására irányuló mérések és a velük kapcsolatos megfontolások közül a Föld kerületére vonatkozó próbálkozások voltak a legeredményesebbek. A legrégebbi adatot Arisztotelésznek az égről írt tanulmányában találhatjuk, ahol a Föld kerületét 400 000 stádiumban adja meg. Később Arkhimédésznel (i. e. 287–212) 300 000 stádium szerepel, majd alexandriai Eratoszthenész (kb. i. e. 276–194) 252 000 stádiumot számít ki a nyári napfordulókor különböző földrajzi szélességeken mért delelési Nap-magasság alapján, melyet azután a neves földrajztudós Sztrabón (kb. i. e. 64–24) és a római Plinius (i. sz. 61–114) is átvesz. A görög olimpiai stádium 185 méter volt, de egy Pliniusnál található adat alapján Eratoszthenész 157,2 méteres stádiummal számolt. Ptolemaiosznál 180 000 stádium szerepel ugyanezen értéként, ám ő minden valószínűség szerint az akkori hivatalos egyiptomi stádiumnak megfelelő 210 méteres stádiummal dolgozott. Ha ezen tényezők alapján számítjuk át a stádiumban megadott hosszakat méterre, láthatjuk, hogy azok jól megközelítették a mai, kb. 40.000 kilométernek megfelelő adatot.

Messze nem voltak ilyen jók a Nap távolságával kapcsolatos becslések. Eudoxosz úgy vélte, hogy a Nap kilencszer nagyobb és így kilencszer messzebb van, mint a Hold, Arkhimédész apja ezt az arányt 1:12-re, maga Arkhimédész pedig 1:30-ra becsülte. Arról nem maradt fenn információ, hogy milyen megfontolások alapján adódtak ezek az értékek, Arisztarkhosz esetében azonban ránk maradt módszerének leírása, mely a holdfogyatkozások megfigyelésén alapult, s amely alapján ő 1:18 és 1:20 közöttre becsülte a Hold és a Nap Földtől való távolságának arányát. Hasonló módszert alkalmazott Hipparkosz és Ptolemaiosz is, akik közül az előbbi szmirnai⁶⁵ Theón szerint 0,29 Föld-átmérőre becsülte a Hold átmérőjét és 12 1/3-ra a Napét. Ugyancsak szmirnai Theón nyomán Hipparkosz 60,5 Föld-sugár távolságot kapott a Holdra, s 2550-et a Napra. Ptolemaiosznál ez a két utóbbi távolság 59 és 1210 Föld-sugár.⁶⁶ A Hold ma számított távolsága kb. Föld-sugár, átmérője kb. 0,273 Föld-sugár. A Nap viszont több mint 20.000 Föld-sugárnyira van a Földtől.

9. A kaldeusok numerikus bolygóelmélete

Az emberiség történelme, s ennek részeként a kultúra, a gondolkodás és a tudomány története egyszeri, megismételhetetlen folyamat. Láttuk azt, hogy a görög elméleti természettudomány csúcsteljesítménye,⁶⁷ a ptolemaioszi rendszer a matematikailag szerkesztett, s ilyen értelemben harmonikus kozmosz püthagoreus eszméjén alapul, melyen belül kitüntetett szerepet játszik az égitestek egyenletes körmozgásának tézise. A történelem egyedi volta és megismételhetetlensége

⁶⁵ I. sz. II. századi platonikus filozófus. Könyvet írt Platón matematikai tanításáról, melyben részletesen foglalkozik az asztronómiai jelenségek „megmentésének” problémájával.

⁶⁶ Vö. pl.; Dreyer: *A History of Astronomy*, 184–186. o.

⁶⁷ Amikor így fogalmazunk, figyelembe vesszük azt, hogy a matematika és a geometria nem természettudomány, s így Eukleidész *Elemekje* nem természettudományos munka.

következtében nem tudjuk, és soha meg nem tudhatjuk, hogy miképpen alakul a görög csillagászat története, s ezen belül megszületett volna-e – s ha igen, milyen lett volna – a bolygómozgások görög elmélete, ha nincs ez az eszme, illetve ha az nem nyer megerősítést Platón filozófiájában. Ha ennek ellenére mégis lehet bizonyos elképzelésünk erről, az annak köszönhető, hogy a hellenisztikus Babilóniában szintén kialakult egy olyan matematikai jellegű bolygóelmélet, mely nagy pontossággal képes volt a bolygók mozgásának előrejelzésére. Ebből a babilóniai elméletből ugyanis teljesen hiányzott a görög természettudományra és csillagászatra jellemző kozmológiai motiváció, s célja nem a „jelenségek megmentése” volt, hanem a bolygópozícióknak – elsősorban az asztrológia igényeit szolgáló – előrejelzése.

Milyen volt ez a babilóniai bolygóelmélet?

Elsőként az hangsúlyozandó, hogy semmiféle megkülönböztetés nem volt benne a „látszó” és a „valóságos” mozgás között, s a babilóniai csillagászok számára föl sem vetődött az a lehetőség, hogy a megfigyelhető mozgás más típusú, szabályos matematikai vagy fizikai mozgásoknak a vizuális megjelenése, szembe a görög elmélettel, mely ezt olykor fizikailag is, de geometriailag mindenképpen föltételezte. Az elmélet kiinduló előföltevése mindössze az a tapasztalatból származó fölismerés volt, hogy a megfigyelhető mozgások bizonyos periódusosságot, illetve közelítő szabályosságot mutatnak, melyek ezért matematikai eszközökkel közelítőleg reprodukálhatóak és előre kiszámíthatóak.

Mai kifejezésekkel a babilóniai csillagászok tevékenységét úgy jellemezhetjük, hogy ezt a föladatot – azaz a közelítő reprodukciót és az előrejelzést – oly módon oldották meg, hogy az ismert és az idő függvényében megadott pozícióadatokat alapján közelítő függvényeket konstruáltak, melyeknek argumentumába az időpontot behelyettesítve megkaphatjuk az ismeretlen múltbeli és a jövőbeli pozíciókat.

Ez az eljárás részleteiben úgy néz ki, hogy elsőként bizonyos kitüntetett, nagy periódusokban viszonylag pontosan visszatérő és ezért előre kiszámítható jelenségeket, illetve pozíciókat adtak meg, s az e pozíciók közötti időszakokra alkalmazták a közelítő függvényeket, mely utóbbiak nem közvetlenül a pozícióra, hanem az égitestek mozgássebességére vonatkoztak. Nyilvánvaló, hogy ha egy ilyen kitüntetett pozíció időpontja ismert, s ismert a két ilyen pozíció közötti sebességfüggvény, akkor a T_0 időpontú kitüntetett pozíció utáni T_1 időpontra a bolygó pozíciója a sebességfüggvény ismeretében kiszámítható.

E módszer további részleteivel itt nem foglalkozhatunk.⁶⁸ Pusztán arra térünk ki még, hogy megfelelő időmérő skála esetén a számítások alapjául szolgáló kitüntetett pontok kiválasztása végeredményben empirikus kérdéssé válik: elég hosszú időtartományt átfogó megfigyelési listák tanulmányozásával fölismerhetjük azokat a nagy periódusokban ismétlődő pontokat, melyek alkalmasak arra, hogy ilyen pontként jelöljük ki őket. A közelítő függvények ezután a rendelkezésre álló adatok fölhasználásával próbálkozásokkal adhatóak meg, majd számításokkal ellenőrizhetőek és korrigálhatóak. *Mindehhez semmiféle előföltevéssre nincs szükség a kozmosz vagy a bolygók mozgásának harmonikus voltáról, illetve semmiféle olyan fogalom nem szükséges hozzá, mely valamiképpen egy ilyen kozmoszal lenne kapcsolatban.* Éppen ellenkezőleg: mivel a nagy periódusokon belül a látszó mozgások igen nagy szabálytalanságot mutatnak föl, minél részletesebben kidolgozottabb és pontosabb ez a módszer – azaz minél jobban megközelítik a mozgásokat a fölhasznált segédfüggvényeken alapuló számítások –, annál szabálytalanabbak

⁶⁸ A hellenizmus kori mezopotámiai matematikai csillagászat kiváló és jól használható összefoglalását megtalálhatjuk Neugebauer sokszor idézett könyvének V. fejezetében (109–157. o).

lesznek az alkalmazott sebességfüggvények, s annál távolabb fogunk kerülni egy matematikailag pontosan működő, szabályos, „harmonikus” kozmosz ideájától.

Talán nem nehéz belátni, hogy egy ilyen csillagászat bármily nagy pontosságot is érjen el a bolygómozgások reprodukciójában, sohasem juthat el a törvényszerű szabályok szerint mozgó égitestek fogalmáig, vagy a „látszó” és a „valóságos” mozgás megkülönböztetéséig. A babilóniai elméleti csillagászat által definiált fejlődési pálya ezért sohasem vezethetett volna el a Napgyújtópontú ellipszis-pályák bevezetéséig, s így Newton gravitációelméletéhez. Nem erőltetett talán ennek nyomán azt föltételeznünk, hogy a püthagoreusok–Platón–Arisztotelész–Ptolemaiosz–Kopernikusz–Kepler–Newton gondolkodástörténeti vonal nem esetleges: csak a harmonikus kozmosz ideájától vezethetett út az újkori fizikához. A természet, a kozmosz matematikai harmóniáját eleve föltételezni kellett ahhoz, hogy a görög matematikai csillagászat, majd később az újkori fizika megszülessen: pusztán a tapasztalat alapján, a tapasztalati megfigyelések kalkulatív kezelésével, a tapasztalati adatokra alapozva konstruált előrejelzésekre alkalmas függvények segítségével egy harmonikus, matematikailag „működő” természet eszméjéig sohasem juthatott volna el az emberi gondolkodás.

Mindez természetesen nem jelenti azt, hogy a harmonikus kozmosz ideájának nem voltak tapasztalati motivációi. Egy ilyen eszmét már eleve csak egy olyan lény fogalmazhat meg, aki benne él egy világban, s élményként megélve ezt a világot, kérdéseket tesz föl vele kapcsolatban. Ezen túl a matematikailag harmonikus kozmosz gondolatához nem elég általában egy ilyen élmény a világról, hanem ennek az élménynek olyannak kell lennie, mely azt mutatja, hogy a világ eseményeit, a természet működését szabályosságok, ismétlődések jellemzik. Egy ilyen élmény nélkül sohasem juthatott volna el az emberiség a törvényszerű, matematikai kozmosz fogalmáig, ám nyilvánvaló az is, hogy ebből az élményből – mint amiképpen ezt többek között a milétoszi filozófusok is tanúsítják –, még egyáltalában nem következik szükségszerűen a matematikai jellegű törvények által uralt, harmonikus – és ezért történéseiben a matematika eszközeivel reprodukálható – világegyetem eszméje.

Azzal, hogy azt állítjuk, hogy a püthagoreus eszmevilág alapozta meg a görög matematikai csillagászat kibontakozását, s ezzel közvetve a modern matematikai természettudomány létrejöttét, nem állítjuk természetesen azt is, hogy a püthagoreusok és a görög matematikai csillagászat nélkül nem alakulhatott volna ki valahol, valamikor valami hasonló, ami megfelelné a világ mai fizikai leírásának, hiszen a matematikailag szerkesztett, s ebben az értelemben harmonikus kozmosz eszméje később máshol, más kultúrákban, más népeknél is megszülethetett volna. Pl. Indiában, ahol az örök körfogás mitikus tanának nagy ciklusait szintén szigorú matematikai összefüggések jellemzik. Igaz, ez a tan az emberi tapasztalaton túli világra, s időtartományokra vonatkozik, nem ösztönöz arra, hogy közte és az empiria között olyan közvetítési problémát megfogalmazzunk meg, mely a bolygók püthagoreusok által föltételezett körmozgása és a látszó bolygómozgások relációjában automatikusan adódott. Ám elvileg elképzelhető, hogy a mitikus tanban szereplő szigorú periódusok mintájára előbb vagy utóbb megjelent volna a matematikai periódusok szerint történő bolygómozgások ideája is.

Előbbi fejtegetéseink persze csupán föltevéseken alapulnak. Ha élnek más csillagrendszerekben hozzánk hasonló értelmes lények, akik a mi fizikánkhoz hasonló fizikával rendelkeznek, s egyszer sikerülne velük kapcsolatot teremteni, vizsgálhatjuk majd általánosságban azokat a lehetőségeket, ahogyan gondolkodástörténetileg a matematikai kozmosz ideája, s ennek nyomán egy mai típusú, matematikai fizika kialakulhat. Mindaddig azonban csak egyet állíthatunk

bizonyosan: ez az idea itt a Földön csak egyszer és egy helyen, az ókori görögöknél, a püthagoreus iskolában fogalmazódott meg.

D) A biológiai ismeretek önálló rendszerré szerveződésének kezdetei az antik korban

Kiss János

A közel-keleti népek, az egyiptomiak, a kínaiak és az indiaiak nagy mennyiségű és igen értékes biológiai ismeretet gyűjtöttek össze. E hatalmas mennyiségű ismerettel azonban másképpen bántak, mint a görögök, elsősorban azért, mert olyan világszemléletük volt, amely szerint a világot kiszámíthatatlan démonok, szellemek és istenek uralják. Ezért ezekben a korai kultúrákban a tanult emberek – a kialakuló értelmiség – a vizsgálódásaikat sokkal inkább a természetfölötti és nem annyira a valós természeti világ megismerésére és megértésére összpontosították. A boncolást például nem azért végezték, hogy az állatok, illetve az ember szervezetét megértsék, hanem azért tanulmányozták egyes szerveiket, hogy a segítségükkel megjósolják a jövőt.

A görögök tudományos teljesítménye nem annyira az egyes tapasztalati megfigyelések összegyűjtése és lerögzítése – azt már előttük más népek is megtették. Inkább arról van szó, hogy ennek a civilizációnak a kibontakozásával kezdett a misztikus-mágikus világszemlélet és világértelmezés megváltozni. Ők voltak az elsők abban, hogy a velük szomszédos népek ismereteinek javából feldolgozás útján megkísérelték *a természeti jelenségek törvényszerűségeit* feltárni. A feltáró tevékenység összekapcsolódott azzal, hogy hozzákezdtek a tudományos módszertanok és eljárások kidolgozásához, amelyeknek a segítségével az esetlegesből, az egyes megfigyelésekből ki lehetett következtetni a törvényszerűt, az általánost. Ehhez jelentős *elvonatkoztató (absztrakciós) képesség* szükséges, ami viszont kellő kiindulópont is egy *racionalisabb természetszemlélet* létrejöttéhez, valamint majdan a tudományosnak mondható *fogalmak megalkotásához* is. Az elvonatkoztatás vezetett el az addig gondolatilag értelmesen meg sem ragadható problémák elgondolásához és az ezekkel történő spekulációkhoz is. A kialakulóban levő fogalmak és absztrakciós készség birtokában megfogalmazták a *formális logika* és a *következtetés alapvető szabályait*: megalkottak egy kezdeti, de használható szabályrendszert az absztrakt rendszerek és szimbólumok gondolati kezelésére is. Ráadásul eme logikai eljárásokat alkalmazni kezdték a természet megfigyelésének, leírásának és magyarázatának folyamatában is – így sikerült feltárniuk néhány fontos törvényszerűséget. Ennek aztán megörülve, a felfedezett törvényszerűségeket kezdték egyedül isteninek tartani. A logikai és a tudományos eljárások elemi kereteinek megteremtése után képesek lettek ez egyes dolgokat és természeti folyamatokat mindig új és újabb szempontokból is megvizsgálni és összehasonlítani; a már használhatónak bizonyult szempontokat és fogalmakat más összefüggésekben is használni kezdték, majd továbbfejlesztették; egyeseket azonban elvetettek, hogy majd később mégiscsak újra felhasználják.

A görögök polisz-demokráciájában a tudományos felé közelítő gondolkodás társadalmi szükségletté kezdett válni, mert közvetlen vonatkozásba került egyes emberi szükségletekkel. Ezért a megszülető elméletek és a gyakorlat között magától értődő – ha nem is a mai értelmű – kapcsolat volt, amit azonban sokszor még mitologikus köntös burkolta. Ez a demokrácia (ahol egyáltalán demokrácia van) a rabszolgatartók demokráciája, amely akadályozta az igazi *alkalmazott tudományok* kibontakozását, illetve fejlődését, mert a viszonylag olcsó rabszolgamunkaerő fölöslegessé tette a munkafolyamatok egyre könnyebbé tételére törekvést. Ezért az

elméletek, spekulációk gyakorlatban történő vizsgáját elsősorban az újonnan és főleg általuk létrehozott *deduktív logikai módon* végezték, bár logikailag dolgoztak induktív műveletekkel is.

A biológiai ismeretek a görögöknél is a természetbölcseletbe ágyazva jelentek meg, és ez a természetfilozófia lett a kerete a tudománnyá válás első lépéseinek is. Az ismeretek persze itt is zömmel a mindennapi tapasztalásból eredtek, és a szerveződő tudást tükrözte az irodalom és a művészet is. A biológiai ismeretek fő forrásai továbbra is elsősorban az élelemtermeléssel kapcsolatosak (növénytermesztés, állattenyésztés, halászat, vadászat), de ezek mellé sorakozott a hajós népnél elég gyakori háborúskodások során vagy a palaisztrában sportolás közben szerzett sérülések kezelése és gyógyítása terén szerzett orvosi jellegű ismeretek egyre gyorsabban növekvő mennyisége is. Megjelent azonban ezek mellett a – gyarmatosítással és a kereskedelemmel összefüggésben – más földrajzi régiók és országok növényeinek, állatainak és embereinek leírása, sőt, bizonyos – már-már ökológiai jellegűnek mondható – összefüggések megsejtése is.



Egy tál belső díszítésén Akhilleusz bekötözi Patroklosz karsérülését

Az ókor más népeihez hasonlóan a mitikus világszemléletnek egy racionálisabb világképpel való felváltása a homéroszi korszak táján (i. e. IX–VII. század) kezdődött meg. A homéroszi eposzokban még mesés, mitikus lények is előfordulnak (pl. a háрпиák, szirének, a Szküllá és a Kharübdisz, Polüphemosz), de ezeket már csak Odüsszeusz mesészerűen kiszínezett élményeinek elmondásában találhatjuk meg; a mindennapi környezet és tevékenységek már nagyban és egészében józanul racionális képet mutatnak.

A későbbi évszázadokban a görög demokráciák létrejöttéig a tudományos jellegű spekulációkkal való foglalkozás – ellentétben az ókori keleti kultúrákkal – egyre kevésbé lett meghatározott társadalmi csoport kiváltsága; így a tudás megszerzése és továbbfejlesztése sokkal nagyobb számú embernek (elsősorban szabadnak és néha rabszolgának) vált lehetővé. Az uralkodó réteg pedig egyre inkább megtanulta, hogy a gazdasági hatalmát csak a logikai gondolkodás, a tények ésszerű felülvizsgálata, a törvényszerűségek értékelése és értékesítése segítségével tarthatja fenn – akármilyen mitikus leplekbe burkolja is azokat. Ezért a homéroszi–hésziodoszi vallásos-hősi világszemléletet lassan elvetette, és helyette új filozófiák kibontakozását segítette elő.



Polipábrázolások a knósszoszi palota amforáin

I. e. kb. 600 táján bontakozott ki a kisázsiai ión természetbölcselek iskolája. Az itteni filozófusok már úgy gondolták, hogy minden eseménynek, jelenségnek megvan a maga oka, és hogy egy bizonyos ok egy bizonyos következményt idéz elő. Ez az *okság* (a kauzalitás) *elve*; később mély hatást gyakorolt a tudományok fejlődésére. A ión természetbölcselek feltételezték először az „örök (isteni) *természeti törvények*” létezését; szerintük e törvények kormányozzák az egész világegyetemet (a „kozmosz”-t), és ezeket az ember meg is ismerheti a *megfigyelés* és a *helyes* (logikai) *következtetés* ereje által. Fő érdemük tehát a racionális gondolkodás ereje általi valós megismerés lehetőségére való ráatalálás volt; emellett ők hozták létre a biológiai tudományok alapvető koncepcióit is.

1. Az anyag és az élet mibenléte; az éltető erő és a lélek

Az új filozófiákban a görögök már az absztrakt fogalmak segítségével a kozmosz keletkezésének és összetételének, benne az élőlényeknek, az élet mibenlétének a kérdésére is megpróbáltak válaszolni. A rendszeresen gondolkodó kisázsiai ión bölcselek lényegében olyan magyarázatokat konstruáltak a világról, amelyek a természetet már önmagában, démonok, szellemek és istenek közreműködése nélkül, *az anyag valamiféle fejlődésének* elképzelése és *törvényszerű működés* alapján értelmezik. Továbbépítették a talán a perzsáktól átvett elgondolást a *négy őselemről*: a tűzről, a vízről, a levegőről („pneumá”-ról) és a földről. A világ anyagi összetételére vonatkozóan kezdetben a materialisztikus vonásokat domborították ki. Új és speciálisan ión természetbölcseleti gondolat a négy őselemnek nem az állandó egyensúlya vagy annak felbomlása, hanem *az állandóan változó mozgásának* képzete. Az egyik őselemet a kezdeti elemnek („*arkhé*”) gondolták, és a többieket valami ősi evolúciós elképzelés alapján ebből vezették le. Szerintük a négy elem megszületése után ezek együtt az egymásba alakulásaikon keresztül minden létezőben – így az élőlényekben is – zajló folyamatok alapjait képezik, mégpedig az állandóan ellentétes mozgásaikkal. Ezt a dialektikus, dinamikus szemléletet alkalmazták az emberi társadalmi változásokra is; szerintük a természet törvényei értelemszerűen vonatkoznak a társadalomra, mint természeti képződményre is. Az istenit az anyag csodálatos sokféleségében és a változatos mozgásokban, az elemek végtelen kombinációiban, ezek törvényszerűségeiben ismerték el.

A materialisztikus dinamikus fejlődés gondolata vonatkozik az élőlényekre is.

A milétoszi Thalész (i. e. VII–VI. század) úgy gondolta, hogy a világegyetem tartalmaz egy teremtő erőt, a „*phüszisz*”-t. Ő a nedvességet, a vizet gondolta arkhénak (ősanyag); szerinte az élet lényeges eleme is a víz; az élet keletkezésében is a víz játszotta a fő szerepet. (Talán azért jutott erre a felismerésre, mert úgy észlelte, hogy az élőlények tápláléka nedves, és mindennek csírája nedves természetű.)

Utána Anaximandrosz és az abderai Démokritosz is a nedvesség, a víz szerepét hangsúlyozták az élet keletkezésében, az első élőlények testének felépítésében.

Anaximandrosz (i. e. VII–VI. század) Thalész tanítványa a vízből magyarázta az élet keletkezését is, a halakhoz hasonló vízi élőlényekből pedig az ember létrejöttét. De úgy gondolta, hogy az élőlények a víz mellett még földből és valamiféle gázszerű „*apeirón*”-ból is állnak; ez aztán lehet meleg és hideg is. A víznek, a földnek és az *apeirón*nak a keveredése a négy elemet hozta létre: a földet, a levegőt, a tüzet és a vizet. A víz és a nedvesség szerepét előtérbe állító elgondolások sem függetlenek azonban a már jóval korábban és számtalan helyen létrejött *ősneveződési tanoktól* sem. Anaximandrosz szerint a gömb alakú Földön az *élet spontán jöhetett létre* a mocsarakban, a tenger iszapjában; az *előlények* általában a naptól elpárologtatott nedvességből képződnek. Az első szervezetek a vízben éltek, és a kialakuló állatok a halak lehettek, amelyeket tüskés bőr borított. E halak leszármazottai elhagyták a vizet, kikerültek a szárazföldre, és itt további állatokat hoztak létre *átváltozással*. (Ez az első ésszerű evolúciós elmélet.)

Anaximenész (i. e. VI. század) milétoszi természetfilozófus talán Anaximandrosz tanítványa volt. Az arkhé (az ősanyag) szerinte a „*pneuma*” (kb. levegő). A *pneuma* az életnek is oka, és gondolati erővel rendelkezik. A *légzéssel* a *pneuma* bejut a szervezetbe, így az agyba is. (Ezzel tulajdonképpen a világlélekről szóló orfikus hagyományt vitte bele a természetfilozófiába.) Szerinte az összehúzó és sűrűsödő anyag hideg, míg viszont a ritka és a „*laza*” anyag meleg. Az ember a száján át hideget is és meleget is lehel. A lehelet ugyanis kihűl, ha az ajkak összeszorítják és sűrítik; de melegedik, ha a száj nyitva maradása következtében ritkul. Ragaszkodott ahhoz az *ősneveződési elképzeléshez*, hogy az élőlények a mocsaras iszapban keletkeztek a nap melege hatására.

Empedoklész (i. e. V. század) természetbölcse és orvos volt. Egyiptom misztikus tudományának birtokában már *4 őanyagot* különböztetett meg: a tüzet, a vizet, a földet és a levegőt. A *4 őanyag* nem ellentétes egymással, hanem különböző. Az őanyagok állandóan szétválnak és egyesülnek; ez az egyes dolgok *ősoka* („*rhizómata pantón*”, a mindenség gyökerei). A kozmoszban dagályszerű és apályszerű *állandó ciklusos mozgás* van; ebből a *szükségszerűség* és a *véletlen* folytonos *tökéletesedést* hoz létre. (Tehát a *fejlődést* a szükségszerű és a véletlen egymásra hatásából magyarázta; a létrejövő létezők pedig egyre tökéletesebbek lesznek.) Szerinte az *élők* a *földből* keletkeztek. (Ez az a gondolkör, amelyet a Biblia is átvesz a „porból lettél és porrá leszel” kijelentés tanúsága szerint.) Az *őselemek* keveredése fölött uralkodik – természettörvény értelmében – a *szeretet* („*philotész*”) vonzása és a *gyűlölet* („*neikosz*”) taszítása. Az elegendő elemkeveredés és a szeretet túlsúlya esetében célszerű élőlények jönnek létre. A *4 őselemen* kívül megkülönböztet *4 alapminőséget*: a hideget és a meleget, a nedvest és a szárazt.

Az epheszoszi Hérakleitosz (i. e. VI–V. század) a *tüzet* tartotta ősanyag; az élet, a mozgás forrása is a tűz, részben a meleg, részben a folyton változó megfoghatatlan finomságú változása miatt. (Jól látható, hogy e korai materializmus is tulajdonképpen analógiás szimbólumokat használ fel a jelenségek értelmezésére; de már nem személyesíti meg a történéseket, és nem animisztikusan értelmezi többé a természet megnyilvánulásait.) Megállapította, hogy az ember testében életében és halálában is ugyanaz az anyag van, de ugyanaz található éber állapotban és

alvás alatt is; nagyjából ugyanaz az anyag alkotja fiatalon, mint öregkorban. Tehát a testben az anyag lényegileg nem változik sem az élet, sem a halál során, sem az egyes életkorokban. A halott és az élő közötti fő különbség az, hogy a halottban már nincs meg az életet adó tűz. A tűz maga a változás, és ez minden lét lényege. Az *egység* mindig *sokféleségből* ered úgy, hogy a sokféleség *ellentétekké* rendeződik; az ellentétek pedig állandó *küzdelemben* vannak egymással, és így hozzák létre eredőül az egységet. Azt állítja, hogy az ember az *érzékei* és a *gondolkodás* útján felfoghatja a világban megnyilvánuló rendszerességeket, az anyag állapotváltozásainak menetét. (Tanításai közvetlen hatásokat gyakoroltak a görög orvostudományra.)

A materialisztikus elgondolások mellett létrejött (illetve a keleti filozófiák és vallások hatását folytatta) az *orfikus mitikusok* elképzelése a világról. Ezek a részben még misztikus „bölcselek” már i. e. 1000 körül kezdtek foglalkozni az emberi *érzelmek* és az ember *lelki életének* természetével (tehát nem elsősorban magával a körülöttünk levő világgal). Elgondolásaik az emberi lelki jelenségek kivetítéseiként értelmezhetők (vagyis animisztikusak). Szerintük a világ szüntelen mozgásban van, minden része működik. A szellemi és az anyagi világ között éles különbség nincsen; mindent átitat ugyanis a *világlélek*, ami mindent mozgat. (Ez a világszemlélet az animizmusból eredő hülozoizmus.) Az ember a születése után a világ parányi részecskéjét fogadja a testébe a *levegőből*. A levegő ugyanis magának a világot átható aktív léleknek a megtestesítője. A világlélek *légzéssel* jut be az emberi testbe és lép kapcsolatba a test lelkével. A test ugyanis csak burka, hüvelye annak, ami benne lakik. A test halála után a lélek ismét egyesül a világlélekkel. Így részesülhet az ember a lélek és a szellemi erők különböző hatásaiban, tulajdonságaiban. (Ez a koncepció a világ szellemi egységét és állandóságát, a lélek folytonosságát hirdette. A kialakulására nyilván hatást gyakorolt az egyiptomiak *lélekvándorlási* képzete.)

Az orfikus hagyományok folytatója és továbbfejlesztője volt Püthagorasz (i. e. VI–V. század), a püthagoreus természetfilozófiai iskola alapítója, orvos. Polükratész elől menekülve bejárta Egyiptomot és Babilont, majd a dél-itáliai Krotónban telepedett le. Az orfikus elképzelések hatására a *test és a lélek közti ellentéteket* építette tovább, részletesen kifejtve az *elme* és a *test* elkülönítésének elképzelését. Dualista koncepciója szerint a lét lényege a *számok és elveik* által van meghatározva (számmisztika); magukat a számokat is létezőknek vélte, és szinte azonosította azokkal a jelenségekkel, amelyeket jelölni akart velük. A természetben megfigyelt jelenségeket általánosította, és a róluk alkotott elvont képet valóságos létezőnek gondolta. A létezők harmonikus kölcsönös viszonyait tíz ellentétpárral jellemezte (pl. egyenes – nem egyenes; korlátozott – nem korlátozott; hím – nőstény; jobb – bal; hideg – meleg stb.). Az ellentétek harcban állnak, de harmóniában képesek feloldódni.

Parmenidész (i. e. VI–V. század) eleai filozófus már a *megismerés* problémáit is feszegette. Azt hirdette, hogy az anyagi világra az állandóság, az anyag változatlansága a jellemző; ezzel szemben az *érzékszerveink* éppen a változásokról adnak híreket a számunkra. Ennek következtében a *gondolkodás* a valósággal ellentétes eredményekre vezethet. Az érzékszervek tehát csak felületes jelenségeket tükröznek vissza; így arra nem alkalmasak, hogy a változatlan, örök törvényszerűségekre belelássunk a segítségükkel, ezért elvetendő. Az ember csak a gondolkodása és az *értelme* segítségével juthat el az igazság felismeréséhez.

A materialisztikus természetbölcselet és az „őselemek” tanának képviselője volt Anaxagorasz (i. e. V. század) is. I. e. 432-ben a racionalizmusa miatt elűzték Athénból. Szerinte az anyag *őselemei* („a dolgok magvai”) minőségileg végtelenek. Ezek egyesüléséből keletkezik valamennyi létező. A részek egyesülését és szétválását előidéző erő a „*nousz*” (az értelem, az ész). A nousz a legkönnyebb és legtisztább anyag; a többi anyagokkal nem keveredik. A nousz tulajdonképpen

azonos a világban megnyilvánuló törvényszerűségekkel. Az *élőlények*ben az ész egyedi, egyre bonyolódó formákat ölthet: a *növények*ben csupán az *érzékelés*, az *állatok*ban emellett a *mozgás*, az *emberben* pedig még az *értelem* is belőle származik. Minden állatnak van valamiféle intelligenciája, de a legmagasabb fokú az emberé. Az emberi *lélek* a test szervezője és működési elve, maga is a nousz megnyilvánulása. Az emberi értelem ezért megismerheti a természeti törvényeket, és ebben az ész mellett az érzékelésnek is fontos szerepe van.

Az eddig tárgyalt bölcséleti elgondolások mellett Szókratésszal jelentkezett egy újabb probléma. Ő nem magával a világgal foglalkozott, hanem a magatartás okaival. Szókratész (i. e. 469–399) athéni filozófus bölcséletében került előtérbe az *emberi élet céljának*, *erkölcsi alapjának* és a *magatartásnak* a vizsgálata. Szerinte a cselekvés okának kutatásában a szemlélődés és az *önmegfigyelés* a legjobb módszer. A vágyak okát az emberi ész fedezi fel, ez irányítja a célok helyes megválasztását is. Ő – Anaxagorasszal éppen ellentétesen – az emberi észből vezette le az észlelet törvényszerűségeket (és nem fordítva).

A kortárs Démokritosz (i. e. 460 körül–370) abderai természetbölcselő érdeklődését ismét a való világ felé fordította. Leukipposz tanítványaként az atomista iskola fő képviselője. Szerinte is a kozmosz *atomok* nagy mennyiségéből áll, és ezek az *üres térben* mozognak. A világ és minden dolog keletkezését szigorúan mechanikai módon magyarázta, minden dualisztikus elv kizárásával. A *szükségyszerűség* miatt az atomok kavarodó mozgásba kezdenek; ez az összekapcsolódásukhoz vezetett, és így jöttek létre az összetett testek. A testek tehát csak mennyiségileg különböznek egymástól. Ezért az ember is a nagy világegyetem kicsiben való visszatükröződése (a *mikrokozmosz* a *makrokozmosz* kicsinyített reprezentációja).

Philolaosz (i. e. 450 körül) fogalmazta meg a „*három lélek*” tanát. Ennek az orfikus hagyományokon és Anaxagorasz nézetein alapuló tanításnak a lényege az, hogy az állatokban az „*életfenntartó lélek*” „székhelye” a *köldök*; a „*mozgató állati lélek*” székhelye a *szív*; míg az „*értelmes ésszerű lélek*” „tartózkodási helye” pedig az *agy*. Ez utóbbival szerinte csak az *ember* rendelkezik.

Ez eddigi – főleg a lélekre, az észre és az értelemre vonatkozó – filozófiai elgondolások felhasználásával Platón (i. e. 427–347) athéni filozófus alkotott egy nagyszabású bölcséleti rendszert. Felismerte ő is az *életben* az állandó változást, és a lényegét valamiféle ellentmondásban vélte megragadni. A szofistákkal együtt a világot egyes *fogalmak szerint csoportosítva* mutatja be. Egy dolog elnevezése szerinte az „*ideájá*”-val van kapcsolatban; márpedig az „*idea*” a dolgok lényege. Ezért próbálkozott a dolgoknak az őket jelölő fogalmak szerinti osztályozásával. Ilyen fogalmi csoportok: ég, istenek, föld, emberek, emberi teljesítmények („*tekhné*”), állatok, növények. Filozófiai irányvonala – Szókratész nyomán is – elmélyíti az *önmegfigyelés*, a szellemi befelé fordulás programját. Hangsúlyozta az ész mindenható szerepét. (Az idealista jellegű filozófia ezzel eltávolodik a valódi külvilág kutatásától.) Mivel az emberi ész a nem érzékelhető lényegi („*ideális*”) tulajdonságokat vizsgálja, ezért az *érzékelés* nem is játszhat lényeges szerepet az ész munkájában. Maga az ész az ember belsejéből aktívan irányítja az élettevékenységeket. A *lélek* két részből áll: az isteni eredetű, magasabb rendű és halhatatlan részből, valamint egy halandó részből. A halhatatlan lélek tartalmazza a *gondolkodásképeség* elemeit és felelős az észért; ez a testtől független, nem-anyagi, racionális irányító. A tűz, a víz, a levegő és a föld megfelelő arányú elegyítésével isten megalkotta a velőt, amelybe betelepítette az isteni halhatatlan *lélek fajtát*. A lélek isteni magvát befogadni képes velő teljesen gömbszerű; ez az *agyvelő* (mivel a gömb a legtökéletesebb idom a térben). A lélek halandó részét befogadó velők köré építette isten a testet. Az érzékelhető jelenségek léte és pláne a hasznossága viszont csakis az ideákból vezethetők le. (Ezzel a filozófiában elkülönítette az *elvont fogalmakat* és az érzékletek

keltette benyomásokat, e különbözőséget először hangsúlyozta. A *valóság megismerését* azonban ezzel eleve *deduktív útra* terelte át.) Az ideák világa a lélek számára a *belső szemlélődés*, az *önmegfigyelés* (az introspekció) során jelenik meg. Platón úgy vélte, hogy az élővilág minden tagja és az ember is arra törekszik, hogy az ideák képét megszerezhesse. Ezért az ok-okozati összefüggések mellőzésével bevezette a *célratörés*, a *célvezéreltség* (a teleológia) elképzelését. Az ember célja szerinte nem más, mint az önmagában felfedezett tökéletes ideák és az erkölcsi fogalmak megvalósítása. (A teleológia innen fogva a természet vizsgálatában is és a világ folyamatainak értelmezésében is fontos szerepet kapott.)

Kezdetben Platón nyomdokain haladt, de aztán saját filozófiai elképzeléseket alakított ki (az előkről is) Arisztotelész (i. e. 384–322). Ő volt az utolsó kiemelkedő antik görög filozófus; az első enciklopédista, aki a tudás minden ága iránt érdeklődött; szellemi képviselője a *tudomány* felé vezető útnak. A platóni filozófia alaptézisét elvetette: *a dolgok lényege* szerinte nem rajtuk kívüli ideákban, hanem *magukban a dolgokban van*. Kialakította a *négy ok tanát*, ami szerint a természetben négy ok létezik: a) az anyagi ok – vagyis hogy az anyag a dolgok végső szubsztrátuma; b) a formális ok – eszerint a dolgok lényege a *forma* („eidosz”), az anyagot átalakító ok; c) a létrehozó ok – ez a mozgás, ami a változást előidézi; d) a *cél-ok* („telosz”) – ami a dolgok létezésének végső oka. Ezek közül dominál a formális ok és a cél-ok. A forma az *anyagot* („hülé”) alakító tényező; a természet jelenségei nem mások, mint a passzív anyag formát öltése. Szerinte azonban a forma nem lett, hanem mindig is volt (ezzel azonban a formát elválasztotta az anyagtól). Mivel a forma az anyag és a lények „cél”-ját, „értelmé”-t is megtestesíti, ezért az *életfolyamatokat* is a cél-okokkal magyarázta. Az „értelmes végső cél”-t (telosz) felállító elvet „*entelekheia*”-nak nevezte, ami minden természeti jelenségnek egy benne létező és előre adott végcél kölcsonöz. (Ezzel vitte be a jelenségek értelmezésébe a *teleológiát*.) A forma az anyag aktuális állapotát meg tudja változtatni, az entelekheival új állapotot képes létrehozni. Létezik tehát *fejlődés*, amelyben az alacsonyabb fejlődési fokozat a potencialitás, a magasabb a megvalósulás. Erre alapozta elképzeléseit az élettelen és az élő természet közti kölcsönös viszonyról, másrészt az élő természet egyes formái közti kapcsolatról. Ez az elképzelés a „*lények létrájá*”-nak elgondolásához vezette, amelyben a legalacsonyabb létrafokot az élettelen természet jelenti, amelynél az anyag még uralkodik a forma fölött; a magasabb fokokat az élő anyag jelképezi, ahol az anyagot már a forma különböző fokozatai uralják. Az élőlényeket irányító forma szerinte a „*lélek*” („pszükhé”), ami az entelekheijukat jeleníti meg; ez alakban, életműködésekben és testi változásokban nyilvánul meg. (Tehát a testet azonosította az anyaggal, a lelket a formával.)

Démokritosz materialista nézeteit fejlesztette tovább Epikurosz (i. e. 341–270). Szerinte a világon minden természetes módon megy végbe; mindennek, ami keletkezett, természetes oka van. Semmi nem lesz nemlétezőből, és semmi sem válik semmivé; tehát az *atomok és az űr* öröktől fogva léteznek. A nehézkedés az atomok mozgását lefelé irányítja, mégis eltérhetnek a függőleges esésvonalától; ezért taszítások, csavarvonalak jöhetnek létre, és összeütközések következhetnek be. A folyamat összefonódásokhoz és tartós kapcsolatokhoz is vezethet, de előidézhet széthullást is. Így az összes dolgok és élőlények meghatározott idő múltán ismét alkotó atomjaikra fognak széthullani. (Ez a tan a biológiában is új magyarázatok létrejöttét engedi majd meg.)

A kitioni Zénón (i. e. 336–264) Athénban hirdette a *szoikus bölcseletet*. A fizikája szerint a legfőbb elv az anyag és az erő (isten); ezeket dialektikus egységben kell felfogni: az isten az anyagra mint alkotó, formáló erő hat, átítat mindent a mindenütt jelenlevő „*pneumá*”-val (lélegzetével). E meleg levegő sűrűsödéséből és ritkulásából vezette le az egész világot (akárcsak régebben Anaximenész). Az orfikusokhoz hasonlóan úgy vélte, hogy a világot átítató pneuma a

légzéssel kerül a megszületett új élőlénybe, és a légvételekkel indítja meg az *életműködések*. Háromféle pneumát kell megkülönböztetni: a legdurvább tartja össze a testeket, a finomabb felelős a *növekedésért* és a *nemzésért*, a legfinomabb hozza létre az *érzékelést* és a *gondolkodást*. Az ő nyomában a *sztoikus filozófusok* (az athéni Sztoa poikilé oszlopcsarnokában volt az iskolájuk; innen a nevük) a szellemet és az anyagot egyaránt a „*pneumá*”-ra vezették vissza, sőt, gyakran azonosnak is tekintették azokat egymással. A pneumának – anyagi oldaláról tekintve lényegében levegőnek – különleges figyelmet szenteltek. Feltételezték róla, hogy célszerűen hatva minden növekedés, fejlődés, illetve pusztulás okozója. Ők kezdték értelmezni a *pneumát szellemi dologként* is. A sztoikus filozófia utolsó nagy megújítója Poszeidóniosz (i. e. 135–50) enciklopedista görög tudós. Ő az egész kozmoszt *eleven szervezetként* (organizmusként) fogta fel, amelyben a harmónia uralkodik.

A materialisztikus tanok utolsó nagy megszólaltatója Lucretius Carus (i. e. 99–55) filozófus, költő, Epikurosz legnevesebb követője volt. „*De rerum natura*” („A természetről”) című tanköltményében költői formában fogalmazta meg az epikureus filozófiát.

Az i. e. II. századtól a filozófia egyre inkább elfordult a természet tanulmányozásától; természetbölcselet helyett lassan átalakult erkölcsfilozófiává. Ez megfigyelhető a filozófiai művekben és a természetről vagy az élőlényekről szóló munkákban is. A kereszténység megjelenésével és terjedésével a tendencia csak felgyorsult. Az élőlényekről írt fejtegetések is egyre inkább az erkölcsstan alátámasztására, majd a vallások tanainak igazolására és illusztrálására kezdtek szolgálni. Végül az i. sz. III–V. században az egyházatyák kezében a filozófiai és a biológiai jellegű munkák is lényegében már a vallási nézetek „tudományos” bizonyításának voltak alárendelve. Pl. Nemesziosz emesszai görög egyházatyja (püspök) 400 körül a laikusok részére írt egy népszerű könyvet „*Az ember természetéről*”. Ebben nézeteit fejtette ki az ember élettanáról is; megpróbálta összeegyeztetni a görög filozófiát a kereszténység elveivel.

2. A tudomány módszertana felé

Az ókori görögök már megpróbálkoztak a rendszeres megfigyelésből levonható következtetések módszerének kidolgozásával is. Ebben szerepet játszott, hogy ők voltak a logika tudományának megalapozói, de emellett meg kellett birkóznuk olyan problémákkal is, hogy az egyes megfigyelésekből hogyan lehet általánosabb érvényű összefüggést kihámozni. (Ezzel a feladattal még sokáig küszködött az európai gondolkodás.)

A kezdetet itt is az egyszerű leírás jelentette. Ez is hozott azonban olyan információkat, amelyeket aztán később lehetett hasznosítani. Ilyenek voltak pl. az ún. *periplusz iratok*, melyekben az i. e. 650 és 100 között keletkezett „tudományos” érdeklődésből lezajlott utazásokat írtak le úgy, ahogy a hajóról meg lehetett figyelni a tengerpartokat, a kikötőket, a folyótorkolatokat. Az leírások főleg a gyakorlat kívánta adatokat tartalmaztak, de beszámoltak mindenféle élményről is. Ilyenek pl. a karthágói Hanno leírásai, amelyek Nyugat-Afrika partjai mentén tett utazásairól szólnak. A benne leírt állatok között azonosítani lehet a *gorillát*. Az 50 tájt keletkezett „Periplus maris Erythraei” című iratban először írták le az Indiai-óceán mindkét felét és a Kína felé vezető tengeri utat. Ez az irat említi elsőként a *cukornádat*.

Az első filozófus-orvosok „tudományos” módszere az volt, hogy rendszeresen boncoltak (állatokat), így az állatok belső részeit jól ismerték.

Szókratész (i. e. 469–399) erkölcsi vonatkozású filozófiája szerint a cselekvés okának kutatásában a szemlélődés és az *önmegfigyelés* a legjobb módszer. (Ezzel bevezette a szubjektív megfigyelést a saját cselekvések indítékainak feltárására.)

Az orvosok viszont továbbra is ragaszkodtak a való világ objektív megfigyeléséhez (mert nem a saját magatartást elemezték). Hippokratész (i. e. 460 körül–370 körül), illetve a körülötte szerveződött orvosi iskola *választotta el az orvostudományt a filozófiától és a vallástól*; ezzel elindította a tudományos orvoslást a maga önálló útján. (Ezért nevezték Hippokratészt „az orvostudomány atyjá”-nak.) Ő már minden *betegséget természeti okokra* vezetett vissza; kiiktatta a természetfölötti, misztikus erőket. A panaszosainak alapos megfigyelése útján felismerte a szervezet bonyolult kölcsönhatásait. Igyekezett a megfigyeléseit egységes – jóllehet spekulatív – rendszerbe foglalni; ezért átfogó elméletet dolgozott ki az egészség és a betegség mibenlétéről.

Platón (i. e. 427–347) athéni természetbölcselelő viszont a szofistákkal együtt a világot egyes *fogalmak szerint csoportosítva* mutatta be. Iskolájában így formulázták meg a *dolgok osztályozásának módszerét*. Eközben kimutatták, hogy tovahaladó osztással („diairészisz”) az általánostól el lehet jutni az egyedihez, ami többé már nem osztható. A tárgyak ismertetőjegyeit először *kettős választás* (dichotómia) szerint keresték (pl. „pirosak” vagy „nem-pirosak”); e kettéosztást az állítás és az ellentmondás elve szerint kell irányítani, és egy megfelelő eljárásban a tárgyat a hiányzó tulajdonságai szerint kell definiálni. A legutolsó, tovább már oszthatatlan dolog az „*eidosz*” („*faj*”); ezt rendszertani-logikai rendező fogalomnak fogták fel. A „*faj*”-jal szembehelyezték az alkalmanként még föléje rendelt „*genosz*” („*nemzetség*”) fogalmát. (Ez a fogalmi-logikai osztályozási rendszer minden természettudományos rendszertan számára hatalmas haladást jelentett, és minden egymásba skatulyázott rendszer alapja. Azonnal általánosan el is fogadták.)

Platón és iskolája mellett Arisztotelész dolgozott sokat a tudományos módszertan kimunkálásáért. Arisztotelész (i. e. 384–322) a növényekre és az állatokra vonatkozó vizsgálatai és adatgyűjtései során feltette a *tudomány módszertanára* vonatkozó egyik fontos kérdést: először minden fajban közös dolgokat kell-e kutatni és csak az után az egyedi különbségeket, vagy pedig minden egyes élőlényt magában kell vizsgálni? Az *induktív eljárást* tartotta helyesnek: a *jelenségekből* kiindulva lehet az *okokra* következtetni és a dolgok *keletkezését* tárgyalni. Az induktív kezdetet azonban sokszor mégis deduktív okoskodással, sőt, spekulációval folytatta. Hangsúlyozta azonban a *megfigyelést* és a *kísérletet* mint módszert. A fejlődés gondolatát majdnem kizáró világnézeti kiindulópontja az volt, hogy feltételezte a *természet előre adott harmóniáját*. (Ez a gondolat majd két évezreden át gátolta a szervezetek funkcióiról alkotott helyesebb elképzelések kibontakozását.)

Az alexandriai orvos Hérophilosz (i. e. 335 v. 320–280 körül) világnézetében és orvosi szemléletében a hippokratészi és arisztotelészi tanok dogmatikája mellett egyre erősebb hatású az empirizmus: egyre jobban csak a *tapasztalatban* mert megbízni; alkalmazott már *kísérletesnek* mondható *módszereket* és eljárásokat. Emberi testet is boncolt és összehasonlította a struktúráit a nagy állatokéival. Rendszeres *anatómiai kutatómunkát* is végzett, főleg kivégzettek tetemein. (Az egyiptomiak nem félték a halottaktól; ez és az empirizmus nagyban segítette az anatómia fejlődését.) Megfigyelte halálraítéltek szervműködéseit is (ilyen irányú észleletei az *élettan* megalapozását is jelentik). Fiatalabb kortársa, az ugyancsak Alexandriában dolgozó orvos, Eraszisztratosz (i. e. 310 körül–245 körül) jelentősen továbbfejlesztette az anatómiai ismereteket és a szervek funkcióiról alkotott elképzeléseket. Rendszeres *anatómiai kutatómunkát* végzett, fejlesztette a bonctan technikáját is.

Az egyre inkább tudományos jellegűvé váló munkák mellett megjelentek természetesen nem éppen tudományos irományok is. Ilyenek voltak a *paradoxografikus iratok*, az i. e. 250 és i. sz. 150 között széles körben elterjedt írásművek, amelyekben az élő és az élettelen természet megmagyarázhatatlan és sajátos, furcsa jelenségeit gyűjtötték egybe. Főleg csodás történetekkel,

eseményekkel és tulajdonságokkal foglalkoztak. Ilyen a III. századi karüsztoszi Antigonosz „Csodatörténetek” („Historiae mirabiles”) és a II. századi Apollóniosz „Csodás események” („Mirabilia”) című műve. (Tudományos értékük csekély, igazságtartalmukat nem kell komolyan venni; de a jelentőségük mégis az, hogy néha elveszett művekről tudósítanak, sőt, leírják egyes állatok „csodálatosnak” vélt *viselkedését*.)

Az i. e. II. századtól egyre jelentősebbé válnak az *enciklopédikus gyűjtemények*, amelyek az addig felgyűlt anyagokat és ismereteket különféle rendszerek szerint osztályozva gyűjtötték egybe. Ezek célja tehát nem elsősorban új ismeretek szerzése, hanem a már megszerzett ismeretek valamiféle rendszerekbe szervezése, illetve egyszerűen csak leltározása volt.

Az egyik legismertebb enciklopédia szerzője idősebb Caius Plinius Secundus (i. sz. 23–79). Ő korának egész természettudományos ismeretrendszerét összefoglalta a 37 könyvet kitevő „*Historia Naturalis*”-ában. Ez történetek, tények és megfigyelések hatalmas gyűjteménye, ami vagy száz görög és római szerző mintegy 2000 könyvén alapult (a szerző szerint) Arisztotelész műveinek mintájára. A műben tudományos és tisztán paradoxografikus leírás egyaránt megtalálható; saját megfigyelése ritka. Plinius a munkáját „tudományos”-nak gondolta, mert minden adatot „szavahihető” idézettel vagy szemtanúval „igazolt”; ritkán kételkedett a hagyományban. Elítélte a mágiát, mégis közölt mágikus recepteket; hangoztatta a megfigyelés, az „experimentum” értékét, de gyakran meséket adott elő megfigyelés gyanánt.

Az alexandriai orvosi hagyományt, Hippokratész orvosi és Arisztotelész biológiai szemléletét próbálta egybeötvözni az ókor utolsó nagy orvosa, Klaudiosz Galénosz (latinosan: Claudius Galenus; 130 körül–200). Jelentősen továbbfejlesztette a *kísérletes élettant*; felismerte, hogy az *életjelenségeket* és a mögöttük rejlő törvényszerűségeket csakis *élő állatokon végzett kísérletek* segítségével tárhatjuk fel. Az anatómiai alapokon nyugvó vizsgálódási módszerek egyik legeredményesebb továbbfejlesztője volt.

3. A növényteni ismeretek fejlődése

A növényteni ismeretek a növénytermesztés és általában a mezőgazdaság gyakorlati teendői nyomán halmozódtak fel. Ezen a téren már a folyamvölgyi kultúrák nagy mennyiségű tudásra tettek szert.

A növényekről szóló ismeretek tudománnyá válásának útján talán Menesztoré a kezdeményező szerep (i. e. 450 körül). A szübariszi természetbölcselelő (Empedoklész fiatalabb kortársa) volt talán az első, aki a *növények életműködéseivel* tudományosabban foglalkozott. A növényi életjelenségeket a püthagoreus eredetű hideg-meleg ellentétre vezette vissza (ezt Empedoklész az állattanban vezette be). Megkülönböztetett ui. meleg és hideg növényeket; a meleg növények szerinte hideg viszonyok között (pl. vízben) is tenyésznek. A növények meleg természete határozza meg a termékenységüket és örökzöld mivoltukat; a hideg természetű növények viszont szerinte terméketlenek és lehullatják a lombjukat. (Elmélete nagy hatású volt; kísérleteit ismételtették és átvitték a nedvkörtanba is. A később kidolgozott ellentétpárral – a szárazzal és a nedvessel – együtt ez jelentette az alapját a racionális táplálkozástani és gyógyszeres kezeléseknak.)

A botanika további fejlődése Arisztotelész érdeme. Megmaradt művei közül ugyan egyik sem foglalkozott növénytanal, pedig úgy vélik, hogy legalább két értekezést is írt a növényekről. Az akkor ismert mintegy 500 növényt *fákra, füvekre, cserjékre és lágyszárúakra* osztotta. „*A növények elmélete*” címen fejtegette a *növény* fogalmát: szerinte a *növény* az az élőlény, amelyek tökéletlen „*tenyésző lélek*”-kel rendelkezik (csak táplálkozni és szaporodni tud).

Arisztotelész művének folytatója, és különösen a növénytanban beteljesítője az ereszoszi Theophrasztosz athéni filozófus, Arisztotelész tanítványa és utóda a reá hagyott filozófiai iskolában. Mestere állattani műveinek hatására elemezni és osztályozni kezdte a *növényeket*. „*Peri ta phütón isztoriai*” („*Historia plantarum*”, „*A növények természetrajza*”) című 9 könyvből álló munkája az első tudományos növénytanak tekinthető; benne kb. 550 növényfaj természetrajzát, morfológiáját, gyógyászati felhasználhatóságát írta le. Külön könyvekben tárgyalta a fákat, a bokrokat, a cserjéket és a füveket. A csoportokon belül külön vizsgálta a vadon élő és a termesztett növényeket. Más csoportjai voltak: gyümölcsöző és gyümölcstelen, virágos és virágtalan, örökzöld és lombhullató növények. (Ő tehát a platóni dichotómiás felosztással különítette el a csoportokat.) Megalkotta a *növényalaktan terminusait*; különbséget tett a külső részek („szervek”) és a belső részek („szövetek”) között. (Ez akkor igen jelentős teljesítmény volt, mert így lehetett ugyanarra a struktúrára egyértelműen hivatkozni.) Ugyanilyen nagy jelentőségű, hogy kidolgozott egy *tudományos nevezéktant*: speciális jelentéssel ruházta fel a szavakat, amiket aztán többé-kevésbé egységesen használtak is (pl. a „gyümölcs”-öt „karposz”-nak nevezte, és a „perikarpion” volt a „magburok”). Nem akarta ugyan rendszerezni a növényeket, de sok fajt egyesített olyan csoportokba, amelyeket ma „nemzetség”-nek tartanak. (Mivel így elsőként csoportosította a növényeket, a *növényrendszertan* létrehozójának is tekinthető.) Másik botanikai műve „*A növények okairól*” („*De causis plantarum*”) címmel jelent meg. Módszere az volt, hogy különbségeket állapított meg és azokat értékelte; különleges figyelmet fordított a növények egyes részeire és azok működésére (ezáltal a *növényalaktan* és a *növényélettan* megalapozóját is tisztelhetjük benne Menesztor mellett). Elsőként tárgyalta a *szaporodás* és az *egyedfejlődés* témáját. E részben írta le először részletesen a datolyapálma kézzel való beporzásának módszerét; kétségkívül először számolt be a virágos növények *ivaros szaporodásáról*; de közölt megfigyeléseket a növények csírázásáról és egyedfejlődéséről is. Aztán írt a hideg és a meleg, valamint a légkör hatásairól. A III. könyvben van szó a gyümölcsfa-kultúrákról és a gabonatermesztésről. A növények betegségeinek rendszeres ismertetésével (IV–V. kötet) megvetette a *növénykórtan* alapjait. Értékelte a Nagy Sándor hadjárataiban szerzett botanikai ismereteket is; az indiai növényzetről szóló részek már a *növényföldrajz* csírái. Ebben először bukkan fel az „*oikészisz*” fogalma, ami az élőlénynek a fizikai környezetével való kölcsönhatását fejezte ki. (Ebben már a modern ökológia megsejtése tűnik fel.) (A növénytanban a jelentősége Arisztotelész állattani jelentőségéhez mérhető; a művéhez hasonlítható munkát nem írtak a reneszánszig. Nem új növényeket akart felfedezni, hanem a célja sokkal inkább összegyűjteni, csoportosítani és megmagyarázni a már akkor is ismerteket. Ezt pedig igen magas fokon teljesítette is.)

A növénytan nagyon sok szállal kötődött a gyógyításhoz és a gyógyszerek ismeretéhez, hiszen az akkor ismert gyógyító szerek zöme növényi eredetű volt. Így nem véletlen, hogy a botanikusok nem határolhatók el élesen az orvosoktól és a gyógyszerészeketől (nemcsak az antik korban, de még a középkorban és az újkorban sem). Így a karüsztoszi Dioklész (i. e. 330 körül) orvos egyik munkája a *gyógynövényekről* szól; ebben leírta magukat a növényeket a szinonímájukkal együtt, a gyógyító hatásait és a begyűjtésükre is adott tanácsokat.

Végzett *növénytan* kutatásokat az ereszoszi Phaniász (i. e. 300 körül) filozófus és természetbúvár (Arisztotelész tanítványa) is. Írt egy nagy művet a növények *magvairól* és a *szaporodásukról*. (Csak töredékek maradtak ránk belőle.)

Theophrasztosz szellemében írt egy könyvet a *fákról* és a *cserjékről*, meg egy másikat a *félcserjékről* és a *füvekről* az alexandriai Hermipposz (i. e. 200 körül) természetbúvár,

Kallimakhosz tanítványa. (Ezeket részben a saját gyűjtései alapján ismerhette, de az alapot a munkájához Theophrasztosz művei szolgáltatták.)

Hogy mennyire összefonódott a botanika a gyógyítással, arra bizonyíték, hogy a Hippokratész iskolája nézeteit tartalmazó „*Hippokratészi Gyűjtemény*” („*Corpus Hippocraticum*”) is tartalmaz növényekkel foglalkozó részeket. (A gyűjteményt i. e. 200 körül kezdték az alexandriai orvosok összeállítani.) „*A gyermek természetéről*” című irat szerzője tárgyalta pl. a *növényi mag csírázását*, a palánta növekedését és a gyümölcs képződését. Úgy vélte, hogy minden növény a talajban találja meg a neki megfelelő *tápnedvet*. A növény növekedése és élete szerinte attól függ, hogy milyen a meleg és a hideg váltakozó befolyása a növény alsó vagy felső részeire, valamint hogy hogyan cserélődik a meleg a részek között.

III. Attalosz (i. e. 135 körül) pergamoni uralkodó pedig a különböző *mérgek* hatása iránt érdeklődött, ezért megalapított egy *fűvészkertetet*, ahol tanulmányozhatta a mérgező növényeket is.

A növénytan és a gyógyítás kölcsönhatásában a gyógyítás jelentett nagyobb súlyt Krateuász (i. e. 100 körül) orvos, farmakoposz munkásságában, aki VI. Mithridatész udvarában tevékenykedett. „*Rhizotomikón*” címmel hatalmas orvosbotanikai művet írt (alig foglalkozott benne magukkal a növényekkel, inkább gyógyszerattal). (Illusztrált műve lett az alapja Dioszkuridész gyógynövénykönyvének is.)

Theophrasztosz után a növények elterjedésével, növényföldrajzzal Sztrabón (i. e. 63–i. sz. 19) görög földrajztudós és történetíró munkáiban találkozhatunk. Földrajzi leírásai tartalmaznak *növényföldrajzi* és állattani adatokat is, főleg a Római Birodalomból.

Nikolaosz Damaszkénosz (i. e. 40 körül–i. sz. 10 körül) görög tudós, történetíró írt kommentárokat Arisztotelész és Theophrasztosz munkáihoz. Neki tulajdonították az ál-arisztotelészi, arabból visszafordított művet, a „*De Plantis*” címűt. Ebben *növényélettani kérdéseket* tárgyal Arisztotelész és Theophrasztosz műveinek kivonatai nyomán.

Ugyancsak inkább a növények orvosi vonatkozásai érdekelték Sextius Quintus (vagy Sextius Niger) (50 körül) orvost. Ő Püthagorasz és Platón tanait próbálta átültetni az orvosi gyakorlatba. „*Peri hülész iatrikészs*” („*De materia medica*”, „*Az orvosi anyagról*”) című gyógyszerattani munkájában továbbfejlesztette Dioklész eljárását: először sorra vette egy-egy növény ismeretőjegyeit, aztán csatolta hozzá az orvosi és gyógyhatásait. (Műve Plinius és Dioszkuridész forrása volt; elveszett.)

Talán a legnagyobb késő antik kori orvos-botanikus volt az anazarboszi Dioszkuridész Pedaniosz (20 körül–80 körül) katonaorvos, természetbúvár. „*Peri hülész iatrikészs*” („*De materia medica*”, „*Az orvosi anyagról*”) című művének öt könyvében az egyszerű *gyógyszereket* és az összetettebb gyógyító szereket a természet mindhárom országából (növények, állatok, ásványok) rendszerbe foglalta a legfontosabb ismertetőjegyeikkel együtt. A mű bevezetése a gyógyszerattan rövid történetét vázolta fel. A szer neve után következtek a szinonímái, aztán az ország és a lelőhely adatai, majd a leírása és orvosi hatásai. (A gyógyhatás megítélésében a saját tapasztalatait is hozzáadta a korábbi szerzőkéhez: Theophrasztoszéhoz, Krateuászéhoz, Sextius Nigeréhez.) A könyvekben tárgyalt több, mint 500 gyógynövényt és egyéb növényt; a részletes leírásuk mellett megadta a termőhelyüket és gyógyászati felhasználásukat, olajukat, aromás anyagaikat is. Az I. könyvben van szó az aromás olajat és kenőcsöket adó növényekről, a II.-ban az állati eredetű készítményekről, a III.-ban a fűfélékről, a IV.-ben is ez folytatódik a gyógyhatású anyagaikat a gyökereikben hordozó növények tárgyalásával együtt. Az V. könyv legfőbb témája a *szőlő* és a *szőlészet*; de itt esik szó az ásványi eredetű gyógyszerekről is. (Orvosi fűvészkönyve az antik világ

legnagyobb ilyen műve. Az egész középkoron át a reneszánszig a fűvészet és a gyógyszerteran állandóan használt tankönyvévé vált.)



Üröm a Codex Vindobonensishen (VI. század eleji bizánci kódex Dioszkuridész műveivel és illusztrációival)

Említésre érdemes az I. században élt nagy enciklopédista, idősebb Caius Plinius Secundus (23–79) is. „*Historia Naturalis*”-ában a XII–XXVII. könyvekben tárgyalta a *növényeket*; az első tíz könyvben a külföldi, majd a hazai növényfajokat elemezte kereskedők elbeszélései alapján, illetve római szerzők műveiből merítve. Leírta az összes ismert növényi formákat és elősorolta az ember számára hasznos termékeiket (a XXIII–XXVII. könyvekben, főleg a *gyógyszereket*) – ezért itt-ott gyakorlati célokra is használták. A műben közel 1000 *növényfajt* tárgyalt gyógyhatásaik és a velük kapcsolatos hiedelmek szerint. (Az enciklopédiának ez a része egészen a XVIII. századig szinte kézikönyv maradt, a középkori füveskönyvek előfutára.)

Gargilius Martialis (230 körül) mezőgazdasági író agrártudományi művének egyik fejezetében („*De hortis*”) Plinius nyomán felsorolt kertekben termesztett növényekből és gyümölcsökből származó *gyógyszereket* is.

A botanika hanyatlása mutatkozik abban, hogy a II. századtól sorra jelennek meg ún. „receptgyűjtemények”, amelyek az orvos-botanikai ismeretek népszerű kivonatai voltak. Ezeknek színvonala azonban lassan süllyedt, és egyre másra telítődött mindenféle áltudományos nézetekkel. Egyik ilyen receptgyűjtemény volt a „*Herbarius*”: 400 körül jelent meg. (A 150 körül élt Apuleius Platonikusnak tulajdonították.) Nem adott leírást a gyógyító növényekről, hanem csoportokba szedte azokat a betegségeket, amelyeket egy bizonyos növény gyógyít. Az utolsó fejezete szólt a hírhedt *mandragóráról*. (A műnek tudományos alapja nincs, sokkal inkább egyiptomi eredetű orvosi babonák – és nem valódi orvosi receptek – gyűjteménye.)

4. Az állattan kialakulása

Az állatokról szóló ismeretek szintén az őskor homályából erednek, de tudománnyá csak a görögök kezében kezdenek szerveződni. Ehhez sokféle állat rendszeres megfigyelésére, de még inkább boncolására volt szükség.

Már a krotóni püthagoreus iskolához tartozó Alkmaion is boncolt állatokat, de nem az állatok, hanem az ember megismerése céljából. Kifejezetten az állatok iránti érdeklődésből Démokritosz (i. e. 460 körül–370) boncolt, és megkísérelte az *állatok rendszerezését*. Az állatok országát két részre osztotta: vannak a *vérrel bírók* („enaima”) és a *vértelenek* („anaima”). Szerinte a vértelen állatoknak is vannak zsigeri szerveik, de azok kicsiségük miatt nem láthatók. Úgy vélte, hogy a *pók fonala* az állat testében képződik.

Az állattan igazi megalapítója Arisztotelész. Ő többféle állatot is boncolt, és talán első műveként megszerkesztett egy magyarázatokkal ellátott anatómiai atlaszt is (ezért az *anatómia* és a *morfológia* megalapozójának is tekinthető). Fő műve e téren a „*Peri ta zóa isztoriai*” („Historia animalium”, „Az állatok természetrajza”) 9 könyve. Ebben a következő témák szerepelnek: I.: fülek, orr, nyelv; II.: az emberszabású és az alacsonyabb rendű majmok; III.: a szem pupillája; IV.: a hangokról és a hangadásról; V.: a születésről és a nemzésről; VI.: a madarak és az emlősök szaporodásáról; VII.: a terhességről és a szülésről; VIII., IX.: az állatok lelkéről. Állattani műveiben tárgyalta az állatok testrészeit a maguk összességében; elemezte mintegy 540 állatfaj életének sokféleségét, érintett viselkedési és ökológiai kérdéseket is; tárgyalta az egyes szerveket és funkcióikat, és úgy vélte (Platón iskolája hatására), hogy a szervek a működés *céljából* alakultak ki (ezért a biológiai *élettan* megalapozójának is tartható, hiszen a szerveket önmagukért próbálta megismerni és nem a gyógyítás céljából). (A leírásai részben saját megfigyelésből erednek, részben más emberek elbeszéléseiből. A mű szemléletes, élvezetes leírásokat tartalmazott, amelyek Arisztotelész kitűnő megfigyelőképességét, jó biológiai érzékét, jó néhány helyen azonban a hiszékenységét bizonyítják.) Ebben tett kísérletet az állatok *osztályozására* is; változó kategóriák szerint állított fel csoportokat, szakítva a meghatározásban a platóni dichotómiával. Felhívta a figyelmet a platóni „diairészisz” hibáira: ott csak kétfelé osztással (dichotómiával) határozták meg egy bizonyos élőlény rendszertani helyét, pedig az az osztályozás nem az élőlények reális megfigyeléséből született, nem az illető lény saját belső sajátosságain alapult, hanem a meghatározásban a külső körülményeket vették döntőnek (pl. a szárazföldi, légi és vízi állatok csoportjai a természet szerint egységes „madarak” csoportját így szétszabdalták). Az állatokat életmódjuk, működésük, szokásaik és részeik szerint lehet – Arisztotelész szerint – csoportokba sorolni. 8 csoportba sorolásukkor először hozta létre (Démokritosz gondolatai nyomán) a *vértelenek* („anaima”) és a *vérrel bírók* („enaima”; tkp. a gerinctelenek és a gerincesek) nagy csoportjait. A csoportok a „*lények létrájá*”-n helyezkednek el: legalul az élettelen anyag, följebb a növények, még följebb a vértelen, aztán a vérrel bíró állatok, aztán a társas állatként („zoón politikón”) meghatározott *ember*. A tökéletesedés eme skálája azonban Arisztotelésznél az emberen túl is terjed. A vérrel bírók közé sorolta az emlősöket (kivéve a ceteket, amelyeket külön csoportnak vélt), a madarakat, a kétéltűeket, a hüllőket és a halakat. A vértelen állatok osztályai voltak nála: a puha fejlábúak (mint pl. a „theuthosz”, a tintahal), a magasabb rendű (kemény héjú) rákok, a rovarok, a teknősök, és végül az összes többi alacsonyabb rendű állat (pl. a héjas állatok vagy kagylók, a puha héjú alacsonyabb rendű rákok). (Ez az osztályozási elképzelés a XVII. századig határozta meg az embernek a természetben levő helyéről és az állatok kategóriáiról alkotott elgondolásokat Európában és még a keleti gondolkodásban is.) Vizsgálatai alapján rájött, hogy az emlősöknek van *tüdeje*, levegőt lélegeznek, melegvérűek és a kicsinyeiket *szoptatják*. Ő

volt talán az első, aki megértette az általános és rendszeres osztályozás (taxonómia) jelentőségét, és a rendszerén belül különböző fokú egységeket állított föl. A tökéletességi létrán e beosztást elsősorban a „*pszükhé*” („lélek”) milyensége alapján alkotta meg. Az embert az állatoktól szerinte megkülönbözteti: 1. az *agyvelő* nagysága a teste tömegéhez képest, 2. a *két lábbon járás*, 3. a logikus *gondolkodás* és 4. a tagolt *beszéd*.

Arisztotelész állattani művei kapcsán érdemes megemlékezni *általános biológiai értékeléséről* is, mert a sokféle állat leírása és tárgyalása láttatta vele az élőlényeket és világukat olyan összehasonlító módon, ahogy a csak emlősöket tanulmányozó (főleg orvosok) sohasem láthatják. Csakis e széles körben elvégzett összehasonlítóval lehetett eljutni olyan általános törvényszerűségek felismerésére, amikre Arisztotelész rájött. Írásaiban felbukkanó néhány elképzelés lett az alapja sok későbbi biológiai elgondolásnak és elméletnek is (némelyikük még ma is befolyásolja a gondolkodásunkat). Ilyen a) a „lélek” és székhelye koncepciója (főleg az érzelmek vonatkozásában); b) a megtermékenyítésben a spermasejtek aktívabb szerepének feltételezése; c) a vér szerepének tételezése az öröklődésben; d) a „lények létrája” és az ember, mint a legtökéletesebb élőlény feltételezése stb. Számos jelentős tudományos elvet fedezett fel. Ezek közül talán a leginkább fontosak a következők: 1. Minden szervezet funkcionálisan és szervezetenként *alkalmazkodik* a környezetéhez, az élőhelyéhez. 2. A *természet nagyon takarékos*: nem költ fölöslegesen anyagot és energiákat semmire; abból szerkeszt, ami a rendelkezésére áll. 3. Az állatok osztályozásakor nemcsak a külső struktúrákat vette figyelembe, hanem felismerte a különféle szervezetekben *közös alapvető szerveződési egységeket*. Hite szerint az egész élővilág leírható lett volna a szerveződés egységes elve szerint; az élővilág tehát nem a különböző életformák egyszerű gyűjteménye. 4. Megfigyelései és értesüléseinek értelmezése szerint felismerte a *szerkezeti homológia* fontosságát, tehát az alapszabásában hasonló organizációjú szervek jelenlétét a különbözőnek látszó élőlényekben, és a *funkcionális homológiát* vagy analógiát, azaz azt, hogy a különböző szerkezetű szervek valami módon ugyanazt a funkciót szolgálhatják: pl. a kéz, a mancs és a pata analóg struktúrák. (Ezek az elvek jelentik az alapját a modern összehasonlító anatómiának is.) 5. Az adatainak feldolgozása nyomán rájött arra is, hogy az *általános struktúrák a specializáltabbak* előtt jelentek és jelennek meg, és hogy a szövetek a szervek előtt differenciálódnak. Arisztotelész hatása óriási volt; bár sokszor félremagyarázták, mégis több, mint másfélezer éven át elsődleges tekintélynek számított sok biológiai témában is (ezért kapta a „biológia atyja” megtisztelő címet). Írásait az arab birodalom tudósai fordították le arab nyelvre és közvetítették az európai kultúrába. Azok közzétételét azonban évszázadokon át tiltották. Először IX. Gergely pápa engedélyezte a megjelenésüket 1231-ben. Ettől kezdve a katolikus teológia próbálta meg egyeztetni a saját felfogásával (főleg Aquinói Szent Tamás munkáiban).

Alexandriában, a nagy ókori tudományos központban nyílt volna lehetőség komoly biológiai felfedezésekre. Az ember anatómiája és élettana vonatkozásában ez meg is történt. Az állattan nem volt ilyen szerencsés. Az alexandriai Muszeion könyvtárosa, a költő kürénéi Kallimakhosz (i. e. 320–240) két állattani művet írt: „*A halak megnevezéséről*” („De piscium appellatione”) és „*A madarakról*” („De avibus”). Az utóbbi műve alapján ő a görögök első tudományos ornitológusa. (A munkája elveszett.)

Az alexandriai Muszeion egy későbbi könyvtárosa, a bizantioniai Arisztophanész (i. e. 257–180) az antik görögök irodalmi műveinek kiadása mellett kivonatolta a még Arisztotelésztől elkezdett, majd főleg Theophrasztosz által kiegészített *állatleírásokat*; ezeket egyetlen iratban egyesítette „*Az állatokról*” („De animalibus”) címmel.

Az Arisztotelész megkezdte úton járt a troászi Lükón (i. e. 250 körül), aki filozófus és természetbúvár volt; a peripatetikus iskola vezetője. Vizsgálatokat végzett az *állatok* keletkezéséről, a testrészeikről, a fajspecifikus különbségeikről Arisztotelész szellemében (de nem a korai mester minőségében).

A sztoikus és főleg a cinikus filozófusokkal megkezdődött az állatok viselkedésének erkölcsi példázatokká válása. A *cinikus filozófusok* szerint az *állatok* magasabb rendűek az *embernél*, mert egyszerűbbek és nem rendelkeznek vagyonnal. Az ésszerűség hiányát náluk más *erények* kompenzálják. (Nézeteik tehát nem természetismeretiek, hanem erkölcsi célzatúak.)

Az i. e. II. századtól az állattani ismeretek hanyatlásnak indultak (akárcsak a többi természet-tudomány is). Még megjelennek zoológiai művek, de ezek már egyre kevésbé alapszanak a szerző saját megfigyelésein, inkább csak korábbi szerzők műveiből kompilált – sokszor azért mégis értékes – alkotások. Így pl. a veronai Aemilius Macer (meghalt i. sz. 16) római költő írt egy tankölteményt „*Ornithogonia*” („A madarak keletkezése”) címmel. Nagyra tartották a mündoszi Alekszandrosz (i. e. 50 körül) állattani munkáit, pedig azokban a zoológia már csak könyvből merített tudás volt. Ugyanebben az időben Dorion természetbúvár írt egy nagy és alapos kompilált művet „*A halakról*” („De piscibus”) címmel. I. e. 10 tájt II. Iuba, Mauretania királya írt egy görög nyelvű munkát Észak-Afrika állatvilágáról (műve elveszett, azonban adatait Plinius felhasználta enciklopédiájában).

A kompilált munkák között talán a legértékesebb volt id. Caius Plinius Secundus enciklopédiája. Az ő „*Historia Naturalis*”-ában a VIII–XI. könyvek foglalkoznak az *állatokkal*. VIII.: Animalia terrestria (szárazföldi állatok); ebben a rendszertani részek keverednek az állatföldrajzival. IX.: Aquatilia (halak és vízi lények); X.: Volucres (szárnyas, repülő lények és madarak); ebben megpróbálkozott a *madárvilág rendszertani felosztásával* úgy, hogy elsősorban a lábuk alapján csoportosította azokat (hajlított körműek, ujjas lábúak, úszólábúak). XI.: Insecta (rovarok). Elfogadta Arisztotelész nagy állatcsoportjait, de nem akarta azokat rendszerezni. Elsőként vette észre, hogy a *szivacsok* és az *Actinidiák* különleges lények a növény- és az állatvilág határán, ezért külön, a „Növényállatok” csoportjába sorolta őket. Ismertet olyan állatokat is, amelyeket a peripatetikus állattan még nem ismert, elsősorban Afrika és Ázsia emlőseit. (Némely, Arisztotelész által említett állatot viszont kihagyott.) A *méhek szaporodását* rejtélyesnek tartotta (jóllehet ezt Arisztotelész már kielégítően megfejtette); a királynőt hímnek vélte. Saját megfigyelése pl., hogy a halódó *hattyú* nem énekel. Említést tett a barátságos *delfinekről*. (A műnek ez a része számos középkori és kora újkori munka alapja lett.)

A viszonylag késői zoológiai munkák közé tartozott Lucius Apuleius (150 körül) római író műve a *halakról*, amiben sok elnevezést maga alkotott.

Jóval terjedelmesebb a római Claudius Aelianus (175?–235) 220 körül írt műve görög nyelven „*Peri zoón idiotétosz*” („De natura animalium”, „Az állatok természetéről”) címmel. Legfontosabb forrásai: Homérosz, Démokritosz, Arisztotelész, Megaszthenész, a mündoszi Alekszandrosz, II. Iuba, Plinius és a saját (kevés) tapasztalata. A 17 könyv fejezetei egy-egy *állatfaj viselkedését* tárgyalják. A közel 1000 állatot említő mű megfigyelések, történetek és anekdoták gyűjteménye, gyakran erkölcsi célzattal.

Az ókor végi „zoológia” állapotát illusztrálja a talán 180 táján feltehetőleg Alexandriában keletkezett „*Phüsziologosz*” („Physiologus”) című alkotás, ami voltaképpen épületes és fantasztikus állattörténet- és leírásgyűjtemény. (Tartalmának jó része visszavezethető Hérodotoszra, illetve a népi szájhagyományokra.) 48 történetből áll valódi vagy mitikus állatokról, növényekről, kövekről, amelyeknek csodálatos, nagyrészt mesészerű tulajdonságait az egyes történetek végén

Krisztussal, az ördöggel, az egyházzal, az emberrel, stb. hozták valahogyan összefüggésbe, illetve az allegorikus történetkéhez erkölcsi tanulságokat illesztettek. (Az egész mű tükrözte az akkori szemléletet, hogy a valódi dolgok megismerése feltárja az isteni láthatatlan dolgokat. A mű nem olyan természettörténet, mint Plinius munkája, hanem egy folklorisztikus népszerű könyv. A történetek latin fordítását átvették az egyházatyák és nyomukban az egész keresztény középkor, mert a mesék alkalmasnak tűntek a keresztény szimbólumok illusztrálására, erkölcsi tanulságok levonására. A mű lett tehát a keresztény természetszimbolika fő forrása. Erkölcsi tanításokat is rejtő meséi a bestiáriumokban, majd az állatmesékben éltek tovább, eléggé súlyos tévedéseket hirdetve, és akadályozva ezzel a valóság tényleges feltárását. Tévedései mai tévHITEINKben, szólásainkban és meséinkben is élnek.)

A IV. században élt természetbúvár, a burdigalai (azaz bordeaux-i) Ausonius (310–382), Gratianus császár nevelője, Ovidius és a kilikiai Oppianosz műveit követve leírta a Rajnába ömlő Mosel *halait*.

Már kifejezetten a keresztény hittételek igazolására íródott – a természettudományokból kölcsönzött érveket csak felhasználva – Baszileiosz (Nagy Szent Vazul; 330 körül–379) „*Hexahéméron*” című műve, amelyben a Biblia teremtéstörténete által leírt sorrendben tárgyalta az *élettelen* és az *élő világot*. Az *állatcsoportok* leírásánál az antik tudomány eredményeit közölte. Megkülönböztette az elevenszülű vízi állatokat (delfin, fóka) az ikrarakó halaktól. A négy lábúakról alig szólt valamit, de nagyon érdekelték a madarak.

Az enciklopédikus összefoglalások utóda akart lenni a 450 körül élt Polemius Silvius, egy nagy „katalógus” kompilátora. A „*Laterculus*” című szójegyzékszerű enciklopédikus műben a levegőt lélegző, a négy lábú és a vízi élőlényekről is készített jegyzéket. A munkában foglalkozott 130 madár-, 26 kígyófajjal, majdnem 60 ízeltlábúval (de közéjük sorolta a szalamandrákat is!); a mintegy 150 vízben élő állat jó része hal (de közéjük került a delfin és egyes lábasfejűek is!). (Ez a mű a római kor legteljesebb állatkatalógusa, jóllehet nem minden tárgyalt állata azonosítható. Az állatok csoportosítási rendszere és a csoportképzés módja nagyon zavaros.)

5. A(z emberi, állati) szervezet struktúrája és működése

Az antik görögök – elsősorban az orvosok – az állati és az emberi egyedeket *egységes szervezetnek* gondolták. Részüket boncolással feltárták ugyan, de csakis az egész szervezetet gondolták szervezett mikrokozmosznak. Náluk még nem alakult ki az egyes szervek külön tanulmányozása, és nem voltak még fogalmaik a szervezet egyes részműködéseinek (pl. anyagcsere, keringés, kiválasztás stb.) elkülönülő vizsgálatára sem.

Már a legelső ismert görög orvosi iskolákban is boncoltak állatokat. Az i. e. 550 táján élt knidoszi természetbölcse és orvos Eurüphón, a knidoszi orvosi iskola megalapítója, az állatok belső részeit is jól ismerte. Ám ő ezt az ismeretet már nem jóslásra, hanem gyógyításra próbálta felhasználni.

A vele majdnem egy időben élt Alkmaion (i. e. 510 körül) krotóni orvos, a püthagoreusokhoz közel álló természetbölcse, a krotóni orvosi iskola megteremtője volt. Ismeretei még inkább filozófiai jellegűek, de az emberi életjelenségeket már annyira részletesen tárgyalta, hogy *iskolája fejlesztette az orvosi tudást elsőként a tudomány színvonalára*. A szervezet elemzésére ő is *állatokat boncolt*. A boncoláskor a vérereket hol vérrel teltnek, hol meg üresnek találta. Ezért úgy gondolta, hogy a vérrel telt erek a „*vércsövek*”, a vért nem tartalmazó erek pedig nyilván „*levegőcsövek*”. (Ez a tévedés majd hétszáz évig tartotta magát.) Kecskék boncolása közben fedezte fel a *fülkürtöt*; ám ebből arra következtetett, hogy a kecskék a fülükön keresztül lélegeznek. Boncolásai alapján

felfedezte, hogy a *szem* összeköttetésben áll az aggyal (vagyis felfedezte a *látóideget*). Úgy gondolta, hogy ezen a csatornán áramlanak az érzéki benyomások. A püthagoreusok elképzelései szerint ő is az *agyvelőt* tartotta az *értelem* székhelyének. Ugyanis az agy alapján levő verőereket a világmindenséget betöltő és éltető „*pneuma*” szállítócsövecskéinek vélte, amelyeken keresztül a „*mikrokoszosz*” (az ember) érintkezésben van a „*makrokoszosz*”-szal (a világmindenséggel). Az *álm* oka szerinte a *vérnek* a „*vért vezető erek*”-be való visszahúzódása. Ha a vér túlságosan lehül, akkor az *alvás* átmegy a *halálba*. Megfigyelte a különbségeket a *verőerek* és a *gyűjtőerek* között. A testben elgondolásai szerint különféle *ellentétes nedvpárok* vannak; ha ezek egymással *harmóniában* vannak, akkor az egyén *egészséges* (az egészség tehát izonómia).

A klazomenai Anaxagorasz (i. e. 500–428) természetfilozófus szintén boncolt; a boncolás alapján leírta az *agy oldalkamráit*. Ismerte a halak légzését is.

Az élő szervezet működéséről az első összefüggőnek mondható „elméletet” az akragaszi Empedoklész (i. e. 495 körül–435 körül) alakította ki. Ő a filozófiájában kifejtett elemek keveredésére, valamint a szeretet és a gyűlölet ellentétpárjára – mint kölcsönhatásra – építette elgondolását az élő szervezetről. Az elegendő elemkeveredés és a szeretet túlsúlya esetében célszerű élőlények jönnek létre, és ekkor a test egészséges; vagyis az *egészség* e négy elem harmonikus, egyenletes elkeveredése a szeretet uralma mellett. Pl. a *csontokat* 4:2:1 arányban alkotja a föld, a tűz és a víz. A *vérben* viszont a négy elem egyenlő és harmonikus arányban van képviselve. A *táplálkozás* nedves anyagok felvételét jelenti, a *növekedés* oka a meleg; az *álm* oka a *vér* lehülése, míg a *vér* teljes lehülése a *halál*. A halál azonban csak az anyagok átrendeződése, amit a ciklusos mozgásnak megfelelően megint újabb életre kelés követ. A *légzést* a vízóra (klepszidra) mechanizmusához hasonlította: a *vér* lefelé történő mozgása (talán a diasztolé) során a levegő beáramlik bizonyos kicsiny erecskébe, és ezzel létrejön a *belégzés*; amikor a *vér* felfelé tart (talán szisztolékor?), akkor a levegő az erecskéből kiszorul, és létrejön a *kilégzés*. (Ezek szerint már az i. e. V. században megkezdődött az élő szervezet folyamatainak összehasonlítása az ismert természetes vagy mesterséges fizikai szerkezetekével.) De nemcsak a *tüdővel* hozta kapcsolatba, hanem a *bőr* ereivel is: amikor a *vér* a test belseje felé távozik, akkor a *bőr* pórusain át betódul a levegő.

Leukipposz tanítványa, Démokritosz (i. e. 460 körül–370) az atomelmélete segítségével magyarázta a legfontosabbnak vélt életfolyamatot, a légzést. *Légzéskor* a lélek atomjait a *levegőből* vesszük fel, illetve adjuk le; az *élet* ezért van a légzéshez kapcsolva. A *levegőből* felvett lélekatomok teszik a test részeit érzésre és mozgásra képessé. Ha a lélekatomok kiszorulnak a testből, az jelenti a *halált*. *Alváskor* megváltozik a légzés; ezért ilyenkor a lélek elernyed.

A már említett Hippokratész szerint az *egészség* a legfontosabb 4 *testnedv* – a *vér* (haima), a *sárga* (kholé) és a (nem létező) *fekete epe* (melaina kholé), valamint a *nyák* (phlegma) – arányos, harmonikus keveredése („eukraszisz”) a megfelelő helyeken. Ezt meghatározza az öröklés, az éghajlat, az évszakok, a táplálék. (A valóságban a három nedv sohasem keveredik egymással ténylegesen. Ez a nedvkórtani (humorálpatólógiai) szemlélet a püthagoreusok és Empedoklész befolyását tükrözi; valójában élettani alapja nincsen. Mégis ez dominálta az orvoslás elméleteit Hippokratész után néhány évszázadon át, mert akkor hasznos munkahipotézis volt: a leggyakrabban látható tünetek valóban nedvekkal vagy éppen a hiányukkal kapcsolatosak, pl. vérzés, hurutos nyák, hányás, hasmenés, genny, vizelet, illetve kiszáradás, száraz köhögés, székrekedés, sorvadás, bélelzáródás, kőbetegségek stb. Hatásai ma is érezhetők.) Munkássága nem különíthető el tisztán a „Hippokratészi Gyűjtemény”-ben megmaradt művekből, amit azonban később kezdtek összeállítani. (Ezért később tárgyaljuk.)

Elsőként a filozófus Platón ismerte fel a szív pumpáló működését: szerinte a szív úgy pumpálja a részecskéket a gyűjtőerek csatornáiba, mintha kútból lökné fel; a gyűjtőerekben a véráramlás keresztül folyik az egész testen.

Arisztotelész a *lelki működések* középpontjának a szívet gondolta: végső soron a szív a felelős szerinte a mozgásért, a táplálkozásért, az érzékelésért, az észlelésért, a gondolkodásért. De itt zajlik szerinte a vérképzés is, meg a hőtermelés; a testmeleg a szívből áramlik széjjel a testbe. A vér a test tápláléka; azért meleg, mert a szív azt „főzi”; a forrását érezzük szívdobogásnak. Ismerte a vér megalvadását és annak néhány zavarát. Úgy vélte, hogy a *genny* megrohadt vér. A szívből indulnak ki az *erek*, amelyek a készített táplálékot szétviszik a testbe. Az *agyat* csak vérhűtő szerepűnek vélte, így ez lenne a szervezet leghidegebb helye (ez jelentős visszalépés Alkmaión, a hippokratészi iskola, de még Platón egyik-másik korábbi nézetéhez képest is); a hűtés közben keletkezik a *nyák* (phlegma), ami a rostacsonton át jut ki az agyból az orrba. Ebben a munkájában úgy vélte, hogy az agy nincsen összeköttetésben az érzékszervekkel (holott már Alkmaión észrevette az összeköttetést). A *tüdő* fűjtatóként működik és szintén hűtő funkciójú. A *tápcsatorna* szervei az ételeket a meleg segítségével elfolyósítják; a feldolgozott tápanyagok gőzei jutnak be az erekbe. Egy részük azokon át kerül a szívhez (ami aztán vérré „főzi” azokat), másik részüket az izmok és az érzékszervek értékesítik, míg a maradék a többi testrésznek jut. A *máj* és a *lép* pótlólagos vérképzők a szív mellett.

Az atomista materialista Epikurosz (i. e. 341–270) fejtette ki azt az érdekes gondolatot, hogy a szerveket a *gyakorlás* fejleszti és a *nemhasználat* (nyugalom) pedig gyengíti. (Ezzel útjára indította azt az elképzelést, hogy az élők szerkezetét a *működés* befolyásolja, sőt, esetleg meg is határozza.)

A karüsztoszi Dioklész (i. e. 330 körül) orvos Arisztotelész tanítványa volt. Átvette a hippokratészi nedvek tanát, az empedoklészi elemeket, és hangsúlyozta a pneuma szerepét is. Athénban rendszeresen boncolt, ő használta először a bonctanra az „*anatómia*” kifejezést. Ő írta meg az első *anatómiakönyvet*. Szerinte a szív a véráramlás forrása. A meleg vér a „pneuma” hordozója; a nyák és az epe csak megromtja a pneumát.

A kósi Praxagorász (i. e. 320 körül) orvos elsőként különböztette meg a *verőereket* (artériákat) a *visszerektől* (vénáktól). Lehet, hogy ő fogalmazta meg először azt a nézetet, hogy az erek közül csak a visszerekben folyik vér, míg a verőerek a „pneuma” szállítói. Ez a pneuma a szívből kiindulóan irányít minden *tudatos mozgást* és minden *lelki tevékenységet*. Ő már 11–12-féle *testnedvről* beszélt; ezek szerinte mind a táplálékból keletkeznek. Kidolgozta az *érverés* (pulzus) megfigyelésének jelentőségét a betegségek felismerésében. Úgy gondolta, hogy a test melege szerzett és nem veleszületett. Szerinte az *érezékelés* szervei az *idegek*. Észrevette, hogy a *gerincvelő* és az *agy* egymással összefüggésben vannak. Számos könyvet írt anatómiai és diagnosztikai témákról.

A kitioni származású filozófus, Zénón (i. e. 336–264) az orfikusokhoz hasonlóan úgy vélte, hogy a világot átítató pneuma a *légzéssel* kerül a megszületett új élőlénybe, és a légvételekkel indítja meg az *életműködések*et.

Az orvosi (emberi, gyógyításra irányuló) élettan nagy minőségi fejlődése már Arisztotelész munkássága után, a hellenisztikus korszak elején az egyiptomi, Nagy Sándor alapította Alexandriában következett be. Ezt a korszakot két nagy név fémjelzi: Hérophiloszé és Eraszisztratoszé; körülöttük azonban dolgoztak más neves orvosok is.

Hérophilosz (i. e. 330 körül–280 körül) nemcsak állatokat, hanem emberi testet is boncolt és struktúráit összehasonlította a nagy állatokéival. Szerinte a *szervezet működését négy erő*

(„dünamisz”) irányítja: a táplálót a máj, a melegítőt a szív, a gondolkodót az agy és az érző erőt az idegek hozzák létre. Rendszeres *anatómiai kutatómunkát* is végzett, főleg kivégzettek tetemein. Megfigyelte halálraítéltek szervműködéseit is (ilyen irányú észleletei az *élettan* megalapozását is jelentik). Felismerte az *agy* funkcióját: az érzékelés és a mozgás, a lelki élet mind összefüggésben van az agy tevékenységével. Részletesen leírta az idegrendszer anatómiáját; az agyat beosztotta *nagy- és kisagyvelőre*. Megtalálta az *agykamrákat*, leírta az őket összekötő járatokat, az *agyhártyákat* és az agy ereit. A homlok közelébe eső első agykamráról úgy vélte, hogy a szemmel áll összefüggésben; a leghátsó agykamrát pedig a gerincvelővel hozta kapcsolatba. Ő fedezte fel az agykamrákba vezető *érfonatokat* (plexus choroideusokat). Sertésekben, marhákban a koponya alapján hátul látható gazdag érhálózatot ő nevezte el „*csodarecé*”-nek (rete mirabile). Először különböztette meg világosan az *idegeket* (ő már az idegeket nevezte „*neurón*”-nak), az inakat és a vérereket; ismerte az erek burkait. Rájött, hogy az *inak* az izmok végződésai, amelyek a csontokhoz rögzítik azokat. Felismerte, hogy kapcsolat van az agy és az idegek között. Úgy vélte, hogy vannak *érező-* és vannak *mozgatóidegek*, mert az előbbiek sérülése csak az érzékelés károsodását vagy elvesztését okozza, míg az utóbbiaké meg csak a mozgását. Pontos ismereteket közölt a *szem* szerkezetéről. A *vékonybél* első részét ő nevezte el 12 ujjnyi bélnek („*dodekadaktülosz*”-nak, „*duodenum*”-nak). Pontosán és természethűen írta le a férfi és a női *nemiszerveket*. Megkülönböztette a *heréket*, a *mellékheréket* és az *ondóvezetéket*. Részletesen leírta a *petevezetéket*, és felfedezte a *petefészket* is. Úgy gondolta, hogy ezek az ondóvezeték és a herék analógjai: tehát a *női magot* hozzák létre. Úgy vélte (tévesen), hogy a petevezeték a húgyhólyagba szájadzik, tehát hogy a női mag a húgyhólyagon át kerül kiürítésre. Megfigyelte a *szív* szerkezetét és működését; az *érverést* a szív működés eredményének tartotta, és felismerte a klinikai jelentőségét. A pulzusszámot vízórával mérte. Rájött, hogy a nyaki erek leszorítása eszméletvesztést vonhat maga után. Szerinte a *légzés* csak mechanikai folyamat: összehúzódból („*szisztolé*”) és kitágulásból („*diasztolé*”) áll. Anatómia alapokon magyarázta a régi „*pneuma*”-tant. Eszerint a szervezet a „*pneumá*”-t a *légcsövön* át szívja magába. A *pneuma* innen a szívbe, majd a verőerekbe kerül. A szívben összekeveredik a vérrel, itt megtisztul, átszűrődik, és úgy jut az agy felé. A csodarecében újabb szűrése történik, ezután a *pneuma* az agyi érfonatokon át behatol az agykamrákba.

Hérophilosz fiatalabb kortársa volt az ugyancsak Alexandriában dolgozó és Khioszból származó Erasiztratosz (i. e. 310 körül–245 körül). Jelentősen továbbfejlesztette az anatómiai ismereteket és a szervek funkcióiról alkotott elképzeléseket. Ő már majdnem rendszeres *anatómiai kutatómunkát* végzett, továbbfejlesztette a bonctan technikáját is. Úgy gondolta, hogy a test *szövetei* idegekből, gyűjtő- és verőerekből vannak összetéve, a megmaradó üregeket a kiáradó *vér* alvadéka tölti ki, ezt nevezte „*parenchimá*”-nak (legalábbis a *máj* esetében). A szövetek végső alkotórészei az atomok, amelyek a táplálékból képződnek, és a már ott levő atomokat kiegészítik, azok a *táplálkozás* és a *légzés* útján folyamatosan megújulnak. (Ez volt az első kísérlet arra, hogy a spekulatív nedvelméletet egy olyan másik elképzeléssel helyettesítse, amely a *test szilárd alkotórészeinek* nagyobb szerepet tulajdonít.) A szövetek atomjainak kicserélődéséhez az új atomokat három csőrendszer szállítja: 1. a *verőerek* (artériák) szállítják a *pneumát*, 2. a *visszerek* vagy *gyűjtőerek* (vénák) a táplálékot, 3. az *idegek* pedig az agyvelő utasításait. Szerinte az *energiát* az *élethez* a „*pneuma*” adja. A táplálék a *gyomorban* megőrlődik, majd valamilyen „*pneuma*”-szerű anyaggá alakul át, az felszívódik, és a *májban* dolgozódik fel *vérré*. A *légzést* a táguló *mellkas* idézi elő a „*légüres tértől való irtózás*” (a „*horror vacui*”) elve alapján: mivel a tágulás űrt hozna létre, a mellkasban levő *tüdőbe* beáramlik a *pneuma*. A mellkas által összenyomott levegő azután a

„vénaszerű artérián” (arteria phlebotes) átpréselődik a szívbe, ahol a bal kamra „magába szippantja” (ismét az „úrtól való irtózás” miatt). A szívkamra összehúzódásakor a pneuma egy része a szervezetbe, másik része az agyba áramlik, a visszaáramlását a záródó *billentyűk* megakadályozzák; ezeket elnevezte (ma is így hívják őket). A billentyűk átfordulását pedig a *szív ínhúrjai* gátolják meg. A táplálékot a *máj* alakítja át *vérré*; a vért aztán a jobb oldali szívkamra fogadja be és árasztja szét a testben (boncoláskor ugyanis ő is csak a vénákban és a szív jobb oldalán talált vért, míg a verőerekben és a szív bal oldalán csak levegőt észlelt). Megsejtette azt is, hogy a verőerek és a visszerek valami módon kapcsolatban vannak; néha ugyanis a verőerekből is vér szökik ki. Ezeket a feltételezett kapcsolatokat „szünanasztomószisz”-oknak nevezte. A szünanasztomósziszok normális körülmények között zárva vannak (hiszen a verőerekben levegő van), de a verőerek sérülésével egyidejűleg megnyílnak, és hogy ne maradjon üres tér (amitől a „természet irtózik” – hirdette ő is Arisztotelész nyomán), az artériákból kiszökött levegő helyébe a vénákból tódul a vér. A *máj* a táplálékból a vér mellett még *epét* is készít, ez az emésztőrendszerbe kerül, de bejuthat a vérbe is, létrehozva az „epés” (kolerikus) *lelki alkatot*. (Nagyvonalú élettani rendszerét Galénosz fejlesztette tovább.) Leírta és összehasonlította a nyúl, a szarvas és az ember *agyának felszínét, az agytekervényeket és a barázdákat*. Szerinte a nagyagy azért tekervényezettebb, mint a kisagy, mert a *gondolkodás* rendkívül sokrétű; a *kisagy* meg kevésbé barázdált, mert az általa irányított *mozgások* kevésbé változatosak. Az agyfelszín tekervényezettségének különbségei alapján az *értelem* fejlettségét az agyvelő barázdáltságával hozta összefüggésbe. Megsejtette, hogy az *agy* az egész szervezettel kapcsolatban van. Szabad szemmel látható, tapintással ellenőrizhető különbségeket észlelt a *gerincvelői idegek* között; egyes idegekről úgy látta, hogy a gerincvelő lágyabb állományából erednek és puhábbak, másokat keményebbnek tapintott, és a gerincvelő kemény burkoló rétegéből származtatta őket. A puhábbakat *érző*-, a keményebbeket pedig *mozgatóidegeknek* tartotta. (Ez az eredeztetés és a tapintásbeli eltérés nem valós, de a kétféle funkció elválasztása nagyszerű megsejtés volt. Az utóbbi elv azonban hamarosan elveszett.) Az *egészség* fennállásának és a betegség kialakulásának magyarázatára nem tartotta kielégítőnek a hippokratészi iskola nedvkórtanát: a nedveken kívül a szilárd részeknek (az atomoknak) és a pneumának is fontos szerepet tulajdonított. A testnedvek között nem említette a (nem is létező) „fekete epé”-t.

A „*Hippokratészi Gyűjtemény*”-t („*Corpus Hippocraticum*”-ot) is az alexandriai orvosok és tudósok kezdték összeállítani i. e. 250 tájától kezdődően. Benne egészen ősi, még Hippokratészt is jóval megelőző, de Hippokratésznél sokkal későbbi írások is szerepelnek. Az egyik szerint az állatok és az ember *üreges szerveinek* valamiféle vonzóereje van, és minden laza szövetnek valamifajta felszívóképessége. A *vér* a táplálkozással felvett anyagokból képződik a *májban*. A „*pneuma*” a *tüdőkön* át a vérbe jut; innen egy része az agyba, másik része a *belekkbe* kerül, a harmadik rész a *szívbe* a vérereken át. A meleg pedig a bal oldali *szívfélből* ered; a bal szívkamra azért vastagabb, hogy ezt a meleget megtartsa. A vér mozgásának motorja a jobb szívkamra, itt a hideg vér a *tüdőverőeren* át a pneumával keveredik. A vért a bal kamra melege hevíti fel. Mozgásának jele az *érlöket* (pulzus). A *mirigyek* működése a fölösleges nedvek kiválasztása. A Gyűjteményen végig vonul az az elképzelés, hogy a mirigyszerű felépítésű *agy* a *lélek* székhelye; a vérnek és a pneumának két edényen át kell ide eljutnia. Az agy sérüléseinél megfigyelték a *keresztezett bénulást*, és azt, hogy a nyitott koponyán át az agyfelszín izgatása a test ellenkező oldalán *mozgásokat* idézhet elő. A *vizelet* a *vese* által készített szűrlet. Egyik legfontosabb irat Polübiosz (Hippokratész veje) könyve „*Az emberi természetről*” („*De natura hominis*”). Ebben összekapcsolja a négy nedv tanát a négy alapminőséggel: a *vérhez* rendeli a meleg és a nedves, a

sárga epéhez a meleg és a száraz, a „fekete epé”-hez a hideg és a száraz, a nyákhhoz pedig a hideg és a nedves sajátosságot. A négyes szkémájában a vérnek megfelel a tavasz, a sárga epének a nyár, a „fekete epé”-nek az őszi, a nyáknak pedig a tél. Ezért a klimatikus és az évszakos változások képesek befolyásolni a szervezet állapotát; ezt ki lehet használni a gyógyulás elősegítése érdekében. (Megértettek tehát valamit abból, hogy a környezet befolyásolni képes az élők működéseit.)

A többi tudományhoz hasonlóan, az életműködésekről alkotott ismeretek is halványultak, a megjelenő művek egyre gyengébbek lettek az i. e. II. századtól. Alig vagy egyáltalán nem foglaltak magukba olyan elméleti rendszert, mint az alexandriai nagy orvosoké volt. A régebbiek írásaiból kompilált művek tartalmaztak ugyan új felfedezéseket is, de egyre jellemzőbb lett babonákkal, misztikus tanokkal keveredésük. A rómaiak orvostudománya pedig csak a legszorosabb értelemben vett gyógykezelésre szorítkozott, elméleteket nem termelt. Még az orvosi mesterséget is inkább görögökre bízták (akiknek tevékenységét aztán nem nézték túlságosan jó szemmel).

Az i. e. 130 körül élt Marinosz orvos felfedezett és leírt hét *agyideget* és néhány *mirigy*et a *tápcsatornában*.

A rómaiak idegenkedése a görög orvosoktól csak Aszklépiadész színrelépésével változott meg. A bithüniai Pruszából származó Aszklépiadész (i. e. 124 körül–56 körül) tevékenysége azonban más szempontból volt sokkal fontosabb. Ő a démokritoszi–epikuroszi atomelméletre alapozva kialakított egy olyan elméletet, amely elvetette a hippokratészi nedvelméletet, és helyette a *szervezet szilárd alkotórészeire* és azok működéseire helyezte a fő hangsúlyt (ezért *szolidáris elméletnek* nevezhető). Szerinte az emberi szervezet állandóan áramló atomokból áll, és ezek mozgás hol sűrűsödést, hol meg ritkulást, „csatornák”-at és „pórusok”-at hoz létre. Az áramlás „pórusok”-on keresztül történik, és ettől függ minden *életműködés*; az *egészség*, illetve a *betegség* is. Az *emésztés* a táplálék atomjaira szétesése és a létrejött részecskék megfelelő elosztódása a nekik megfelelő pórusokba. (Tehát a *gyomorban* és a *belegekben* nem emésztődik meg semmi, hanem a táplálék atomjai egyszerűen szétáradnak a testben.) A vér lüktetését (a *pulzust*) az okozza, hogy a levegő atomjai beáramlaskor tágulást idéznek elő.

Inkább antropológiának, mint élettannak nevezhető az enciklopédista idősebb C. Plinius Secundus nagy művében az *emberről* szóló rész: a VII. könyv. Úgy vélte ő is, hogy az egész élővilágból joggal kell kiemelni az embert a szellemi teljesítménye alapján, de azt is észrevette, hogy az egész élővilágból éppen az ember szorul a legtöbb segítségre: nincs saját meleg bundája (mások bőrét veszi kölcsön), nincs saját bezáró-védő héja vagy háza (úgy kell ilyen külön építenie magának), csupaszon és tehetetlenül születik stb. Felsorolta az egyes *emberfajták* különbségeit, de nem próbálta meg magyarázni őket.

Az attaliai Athéniosz (50 körül) orvos Rómában megalapította a pneumatikus orvosi iskolát a sztoikusok filozófiájában szereplő „*pneuma*” alapján. Szerinte van meleg-száraz és hideg-nedves *pneuma*. A *pneuma* alkotja az érveket, a lelket, a testmeleget és általában a kézzel meg nem fogható testi összetevőket.

Kortársa, az epheszosi Ruphosz (latinosan Rufus; 50 körül) orvos majmokat is boncolt. Elsőnek ismerte fel a *látóidegek keresztesződését* (a chiasma opticumot) az agy alapján, valamint a *szemlencse* tokját. Pontosán leírta a *női nemi szervek* anatómiáját. Úgy vélte, hogy az ember minden tevékenységét az *idegek* irányítják. Írt a veséről, a húgyhólyagról, a pulzusról, a hashajtásról és a köszvényről; foglalkozott az elmebajokkal is. A *lázat* annyira hasznosnak vélte, hogy szerinte mesterségesen is elő kell idézni. Foglalkozott a többes magzatképződéssel és a női meddőséggel is.

A 100 körül élt kappadókiai Aretaios az eklektikus orvosi iskola híve: az *egészség* és a *betegség* magyarázatába a methodikusok atomos-szilárd alkotórészeket előtérbe helyező elképzelése mellett a „pneumá”-t is bevonja, de az élettanban helyet ad a hippokratészi „phüszisz”-nek is. Feltételezett a szervezetben egy új tényezőt, a *tónust*, ami – mint valami szalag – összetartja a szilárd részeket. A koponyasérülések következtében néha fellépő és *ellenkező oldali (keresztezett) bénulások* okaként azt tartotta, hogy az *idegek* nem haladnak azonos oldalon egészen a végződésükig, hanem mindegyikük *átkeresztelkedik a másik testfélre*, tehát az eredésükhöz képest X alakban keresztelik egymást. Azt gondolta, hogy a *gerincvelő* csupán az *agy nyúlványa*. Felismerte a *májkapuér* jelentőségét.

Az ókor végének egyik legnagyobb orvosa lehetett a Rómában dolgozó epheszoszi Szóranosz (85?–145 körül). A methodikus orvos mintegy húsz művet írt (ezek közül csak kevés maradt ránk). Állatokat boncolt; ezért a női szervezet anatómiai leírása nála nem tökéletes, bár a *nemiszervek* tekintetében igen fontos.



Sertésboncolás Galenosz könyve 1565-ös kiadásának címlapján

Majdnem egy nemzedékkel később élt és működött viszont az ókorvég valóban legnagyobb orvosa, a Pergamonból származó Klaudiosz Galénosz (latinosan: Claudius Galenus; 130 körül–200). Megalapozta a *kísérletes élettant*; a *teljes antik orvosi tudást* egységes, de eklektikus filozófiai gondolati vázra támaszkodva elméleti szempontok szerint összefoglalta. A boncolás módszerével azonban gyakran a legfontosabb *életműködések* lezajlását akarta megfigyelni. Feltehetőleg ő végezte az *első élettani kísérletet*. Céltudatosan alkalmazott ugyanis olyan kísérletes eljárásokat, amelyek a legfontosabb idegéletteni vizsgálati módszerekké váltak, ilyen pl. a szervek *idegeinek átvágása*, majd a beidegéstől megfosztott szerv működésváltozásának megfigyelése, vagy a központi idegrendszer bizonyos területeinek *át- vagy bemetszése*, majd annak a megfigyelése, hogy mi történik azokkal a testrészekkel, amelyek az átvágás vagy bemetszés szintje alatt helyezkednek el. Az afrikai majmok boncolásából az ember anatómiájára következtetett. (Ekkor ugyanis már kezdték tisztátalannak tartani az emberi test boncolását.) A következtetései az emberre vonatkoztatva helyenként hibásak voltak. Pontosán leírta az *izmokat* és a *csontokat*, csonthártyákat és *porcokat*, *ízületeket* és szalagokat. Hét pár *agyideget* különböztetett meg (a szaglóideget és a szemtávoltó ideget nem ismerte). A nervus laryngealis recurrens elkötésével és a viselkedés megfigyelésével igazolta azt, hogy az *agy* irányítja a *hangadást*: amikor az ideget az

élő állatban átmetszette, megszűnt annak visítása. (Ezzel először alkalmazta a struktúra és a funkció együttes kutatásának azt a módszertani szintézisét, amin az élővilág megismerése ma is alapszik.) A *gerincvelőt* több helyen átmetszve tanulmányozta a *mozgás szabályozását*. Leírta a szívbillentyűket, megfigyelte a strukturális különbségeket a *verőerek* és a *visszerek* között. Elkötötte a *húgyvezeték*et, hogy kimutathassa a *vesék* és a *húgyhólyag* működését. Ennek alapján tudta (az is lehet, hogy ő fedezte föl), hogy a *vizelet*et a vesék termelik. Nagyon nagy jelentőségű annak kimutatása, hogy a *verőerek* vért és nem levegőt szállítanak (mint ahogy azt már több mint 400 éve tanították). Az *idegrendszer* működését Hérophilosz és a sztoikusok elméletei alapján vizsgálta. Hérophiloszt kijavítva felfedezte, hogy a *petevezeték* a *méh*be szájadzik. A férfi és a női *nemi szerveket* analógoknak gondolta; szerinte a *petefészkek* a női here.

A „*pneuma*” *lélegzéssel* kerül a szervezetbe. Megállapította, hogy a mellkas mozgását a *rekeszizom* és a *bordaközi izmok* végzik; megtalálta az őket ellátó idegeket is; gerincvelő-átmetszéssel arra is rájött, hogy a légzés megáll, és bekövetkezik a halál, ha ezt a nyakszirti régióban teszi. Elsőként gondolta úgy, hogy a légzés nemcsak ad valamit a vérhez (a „*pneuma phüszikón*”-t), hanem *el is távolít belőle valamit* (a „*fuliginózus gőzök*”-et) a kilégzés során. A beszívott *pneuma* a szív üregeiben elegyedik a vérből származó *állati meleggel*. Így jön létre az „*állati pneuma*” („*pneuma zootikon*” vagy „*spiritus animalis*”, vagy *vitalis*), az élet alapereje. Ez a folyamat olyan teljes átalakulás, mint a főzés. Az állati pneumát a *verőerek* viszik széjjel a testbe. A *gyomorban* zajló főzés alakítja át a táplálékot, mégpedig a „*peptiké dűnamisz*” hatására; ez tisztítja meg a tápanyagokat, és készíti elő a beépülésüket a szervezetbe. A *massza* a *vékonybélben* alakul át *nyirokká*, ez pedig a *májkapu*éren keresztül a négylebenyű *máj*ba kerül. A *hasnyálmirigy* (a „*pankreász*”) a gyomor és a gerincoszlop között a gyomor párnája lehet szerinte. A „*természetes* vagy *vegetatív pneuma*” („*pneuma phüszikón*” vagy „*spiritus naturalis*”) a *máj*ban hozza létre a nyirokból a vért, így a *visszerek* szállítják tova a vérrel. Vagyis az érrendszer legfontosabb szerve a máj. A *vérerek* (a *vénák*) a vért és a természetes pneumát főleg a szív jobb kamrájába szállítják, a kisebb *vénák* pedig az *izmokhoz* is, ahol a vér anyagai átalakulnak hússá, illetve a *zsigerekhez*, ahol azok anyagaivá alakul. Magyarázatot adott a *főverőérben* (az *aortában*) levő nagy vérmennyiségre is: szerinte a jobb szívkamrából a bal kamrába átjut a vér a kamrafal parányi pórusain át; kis mennyiségű vér jut a tüdőn át a tüdőartéria és a tüdővénák között, valamint a vénák és az artériák között feltételezett „*szűnasztomószisz*”-kon át. Megfigyelte, hogy a szív mozgását sem a hozzá vezető *bolygóideg* (*nervus vagus*), sem a gerincvelő átvágása nem szünteti meg. Ő nevezte el a szív saját ütőereit *koszorúartériáknak*. A *máj*ban létrejött természetes *pneuma* már a *lélek* egyik része: az alacsonyabb rendű testi *szükségletek* és *vágyak* hordozója. A felnyitott koponyákban az agy mozgását látva arra következtetett, hogy ezt a *pneuma* ritmusos áramlása idézi elő. Ennek az anyagnak a kialakulása során az agykamrákban bomlástermékek keletkeznek, melyek egy része az *orron* át távozik nyálkaként, más része gázalakban hagyja el a koponyát gyermekkorban a még tág *koponyavarratokon* át, felnőttkorban pedig a *csontok* likacsain. A „*pneuma pszükhikón*” az *idegeken* át járja át a szervezetet. (Eme hit alapján vélték úgy egészen a XVIII. századig, hogy az idegszövet mirigyszerű, elválasztó működésű.) Az agy tehát az *érzékelés* székhelye, a *mozgás* irányítója és a *gondolkodás* végrehajtója. Leírta a *köziagy* alján található nyelet (az „*infundibulum*”-ot), az *agyalapi mirigy*et (a „*hüpophüszisz*”-t), a *tobozmirigy*et (az „*epiphüszisz*”-t, a *fornixot* és a *kisagyi közepső lebenyt* (a „*vermis*”-t), a *vago-szimpatikus idegtörzset*, a *szimpatikus határláncot*, a *szimpatikus idegdúcokat* és idegi elágazásokat, külön a *zsigerek* (*splanchnikus*) idegeit. Szerinte az *érzőidegek* „*lágys*” és az agy elülső részéből erednek, átvágva őket megszűnik az *érzékelés*, míg a *mozgatóidegek* „*kemények*” és az agy hátsó részeiből

származnak, elsősorban a *kisagy*ból. Ismert hét *agyideget*; a szaglóideget nem idegnek, hanem az agy előretolt részének tekintette. A *gerincvelőt* a test agyának, az agyvelőt pedig a fej agyának tartotta. A szennyező anyagokat a *lép* szűri ki a gyűjtőeres vérből, a *beleken* keresztül eltávolítva ezek az anyagok alkotják a „fekete epé”-t. Az *egészség* nála is a *négy testnedv* közötti megfelelő egyensúlyból („eukrászisz”) eredő ideális állapot. Az egészség és a *betegség* között éles határ nincs; egészségesnek addig véljük a szervezetet, amíg a diszharmóniát („diszkrászisz”-t) fel nem fedezzük.

Galénoszt követően hosszú időn át nem látható komolyabb fejlődés a biológiai és az élettani tudományokban. Az életműködésekről alkotott elképzelések egy jó része elveszett, a megmaradt részt majd az arabok mentik át az európai tudományosság számára. A III. és a IV. századtól kezdve az egyházatyák is foglalkoztak az emberrel, de már kifejezetten a hittételek igazolása és alátámasztása céljával. Így Caecilius Firmianus Lactantius (250 körül–317 után) latin egyházatya „*De opificio Dei*” („Isten alkotása”) című művében leírta az *ember* teljes anatómiáját, élet- és lélektanát. A nyssai Gregorius (335?–394 után) görög egyházatya, Nagy Baszileosz testvére, Nyssa püspöke, „*De hominis opificio*” („Az ember felépítéséről”) című alapvetően teológiai művében az *ember* anatómiájának és élettanának egy sor problémáját tárgyalta.

6. Viselkedés: érzékelés, mozgás, gondolkodás, értelem

Az antik világban a görögök nagyon hamar kezdtek el foglalkozni a viselkedés egyes problémáival: az érzékelés és észlelés mibenlétével (ebből következően filozófiai szinten a világ megismerhetőségével), a „magasabb rendű” idegi működésekkel, a gondolkodás és az értelem lényegével. Az ősi animisztikus elgondolások nyomán még részben összekapcsolták ezt a problémakört a magasabb rendű, természetfölötti világ hatásaival – úgy, hogy az élőket működtető „pneumát” a világlélekből eredeztették. Ebből aztán kialakult az az elképzelés, hogy az ész, az értelem is a világesz egy darabja, annak ajándékként kerül az emberbe. A materialisztikus világszemléletben viszont az emberre jellemző gondolkodás és az emberi értelem az emberi test működésének a következménye, amihez nem szükséges feltételezni természetfölötti hatalmakat.

Püthagorasz a már említett orfikus elképzelések hatására a *test és a lélek közti ellentéteket* építette tovább, részletesen kifejtve az *elme* és a *test* elkülönítésének elképzelését. A *gondolkodás* központi szervének a gömbszerű fejben elhelyezkedő *agyat* tartotta. (A hagyomány szerint ő volt az első, aki ezt így gondolta.) A jelenségek és történések mennyiségi vizsgálatai alapján észrevette, hogy az emberi *érezékelés* mennyiségileg kifejezhető fizikai jelenségekkel lehet összefüggésben. Pl. megállapította a tanítványaival, hogy a rezgő húr hossza befolyásolja az érzékelt *hang magasságát*: a megpendített húr egy bizonyos hangot ad, és a fele olyan hosszú húr hangja egy oktávval magasabb. (Az érzékelésnek ez a matematikailag kifejezhető volta vezette el a világegyetem harmóniájának, a „szférák zenéjének” elképzeléséhez.)

Az ión természetbölcselelőkhöz tartozó epheszoszi Hérakleitosz (i. e. 540 körül–480 körül) szerint a *gondolkodás* feltétele az érzékszervek működése és az általuk nyert adatok összesítése. Csakhogy az *érezékelés* magában megbízhatatlan; a valóság próbaköve az *értelem*. Alváskor bezárulnak az érzékszerveink nyílásai, és a szellem elválasztódik attól, ami körülvesz minket; egyedül a légzés útján marad némi kapcsolat, és ezért csak az öntudatlan gondolkodás képessége marad meg ilyenkor. *Ébredlétkor* a szellem újra kihajol az érzékszerveink nyílásain, és így újra kapcsolatba kerül a bennünket körülvevő világgal.

A krotóni orvos, Alkmaion a püthagoreusok elképzelései szerint az *agyvelőt* tartotta az *értelem* székhelyének. Ugyanis az agy alapján levő verőereket a világmindenséget betöltő és éltető

„*pneuma*” szállítócsövecskéinek vélte, amelyeken keresztül a „*mikrokoszosz*” (az ember) érintkezésben van a „*makrokoszosz*”-szal (a világmindenséggel). Az agy a felelős az *érzékelésért* (tehát az érzékelés az agy működése) és a *mozgásért* is. Ha az agy megrázkódik vagy a helyzetét változtatja, akkor az érzékelés is sérül. Az érzékelésekből valamiféle szintézissel származtatta az *emlékezetet*, a *képzeletet*, a képzelet megszilárdulásából pedig a *tudást*. Szerinte az agyban minden érzékelésnek saját külön területe van. (Ez az agyi lokalizáció tanának ősi formája.) A *lélek* halhatatlan és állandó mozgásban van, ez a *mozgás* tartja életben a testet is. (A lélek tehát nála is még tkp. életerő.)

Az i. e. 500 körül élt Anaxagorasz már megfordította a valóságban érvényesülő törvényszerűségek és a gondolkodás viszonyát, mivel a gondolkodás képes megismerni a világ törvényszerűségeit, a valóságban érvényesülő törvényszerűségek az egyetemes *ész* („*nousz*”) megnyilvánulásai. Az *élőlényekben* az *ész* egyedi, egyre bonyolódó formákat ölthet: a *növényekben* csupán az *érzékelés*, az *állatokban* emellett a *mozgás*, az *emberben* pedig még az *értelem* is belőle származik. Minden állatnak van valamiféle intelligenciája, de a legmagasabb fokú az emberé. (Nála tehát az *ész* fogalma egyszerre életerő és a majdani szellem, értelem.) Szerinte az *érzékelés* alapja az érzékszervek elemei és a hozzájuk érkező hatások ellentétes volta; mindent arról ismerünk fel, ami ellentétes vele. Úgy hitte, hogy *látáskor* a tárgyak a *szem pupilláján* tükröződnek.

Az akragaszi Empedoklész (i. e. 490 körül–430 körül) szeretet és gyűlölet vezérelte elemkeveredési elmélete szerint a legharmonikusabb összetételű alkotórész a testünkben a *vér*, mert benne a négy elem egyenlő és harmonikus arányban van képviselve. A *gondolatot* is ezért a vérnek kell szállítania. Mivel a vér mozgásának központja a *szív*, tehát a gondolkodás is a szív kell legyen. Továbbfejlesztette Hérakleitosz érzékeléseméletét. Szerinte az *érezkszervek* működésének alapja a *pórusos szerkezetük*. Egyik érzet azért nem lehet valamelyik másik érzékszerv tárgya, mert nem egyformák a pórusaik, így nem ugyanazt az érzetet fogadhatják be. Ezért minden egyes érzékszerv *specifikus tulajdonságokkal* rendelkezik. A természet tárgyairól áramlatok sugárzódnak ki, és ezek behatolnak az érzékszervek megfelelő méretű pórusaiba; a pontos illeszkedés hozza létre a hibátlan *érzékelést*. A *hallószerv* hasonlít a harang nyelvéhez, amelyet a levegő mozgásba hoz; a *fülkagyló* a hang felerősítésére szolgál. Az érzékszervek pórusaira ható anyagok lehetnek az érzékszervhez hasonlók vagy vele ellentétesek. A *gyönyör* érzésekor a hasonló, a *fájdalom* érzésekor viszont az ellenkező tulajdonságú anyagok találkozását tételezte fel. Mivel az egyes érzékszervek csak részjelenségekről tudósítanak, ezért egyetlen érzékszervet sem szabad alábecsülni, és a külvilág jelenségeit minden érzékszervvel meg kell figyelni; egyik érzékszervünknek sem hihetünk jobban, mint a másoknak. A *lelki működések* székhelyéül a *vért* és a *szívet* jelölte meg.

A materialista atomista Démokritosz szerint a *lélek* rendkívül kicsi, végtelenül finom, sima és kerek atomokból áll (akárcsak a meleg), amelyek az egész testben mindenütt megtalálhatók. Az *agyban* „székelő” lélekatomok a *gondolkodásképesség* okai, a *szívben* levők a bátorságéi, a *májban* levők a vágyakozáséi (tehát viselkedési jellegzetességeket az egyes szervek atomjainak tulajdonított). Az *érzékelés* lényege az, hogy a tárgyak kisugárzásait hordozó atomok beleilleszkednek az *érezkszervek pórusaiba*. Az így beilleszkedett atomok alakja és konfigurációja határozza meg az érzéki benyomást. Az érzékszervek érintkezése bizonyos atomokkal különleges, látszólagos tulajdonságokat is létrehozhat, a tárgyakat különböző minőségűeknek mutathatja; ezeket szerinte csak az ember érzékeli, tehát az érzékleti minőségek csak szubjektív benyomások. Az *ízt* pl. az hozza létre, hogy a nyelv kerek atomokkal érintkezik, a savanyút meg az egyenetlen felszínű atomokkal való érintkezés váltja ki bennünk. A közvetlenül érzékelt valóság az atomok

csoportosulásainak felfogása (mivel maguk az egyes atomok nem érzékelhetők). Pl. látáskor a tárgyról hártya alakú atomcsoportok hatolnak a szem pórusain át a testbe. Maga a kép pedig a szem és a tárgy között helyezkedik el. A színek az atomok változatos elrendeződéséből adódnak. A hang meg nem más, mint a fül pórusaival érintkező levegőatomok bizonyos csoportosulása. Az érzékeléssel azonban nem tudunk a dolgok mélyére hatolni, erre csak az emberi értelem képes. Az érzékszerveinkben keletkezik a tapasztalat, de ez nem azonos az érzékeléssel, mert a tapasztalat létrejöttéhez az érzékelésen túl már az értelem közreműködése is szükséges. Szerinte az emberek a legfontosabb dolgokban az „állatok tanítványai” (vagyis felfogása szerint az ember cselekvésének legnagyobb része állati eredetű). A fizikai és az elméleti események lényegi hasonlósága miatt úgy gondolta, hogy az „állati szenvedélyek” gyakorlásából eredő élvezetek nem alacsonyabb rendűek a szellemi eredetű élvezeteknél. Minden élvezet egyformán jó; az embereknek tehát úgy kell szabályozniuk az életüket, hogy elérjék a lehető legnagyobb élvezeteket. Felismerte azonban, hogy a fizikai élvezetek veszélyeket is jelenthetnek, ezért e tekintetben mérséklést tanácsolt.

Az apollóniai Diogenész (i. e. 450 körül) szerint a világ lényege a „pneuma”, voltaképpen levegő, így levegő az ész is. A szaglást is az agyvelőt körülvevő levegő idézi elő. A látás pedig úgy jön létre, hogy a pupilla érintkezik a belső levegővel.

Az idealista filozófus, Platón tanítása szerint a lélek két részből áll: az isteni eredetű, magasabb rendű és halhatatlan részből, valamint egy halandó részből. A halhatatlan lélek tartalmazza a gondolkodásképesség elemeit és ez felelős az észért; ez a testtől független, nemanyagi, racionális irányító. A tűz, a víz, a levegő és a föld megfelelő arányú elegyítésével isten megalkotta a velőt, amelybe betelepítette az isteni halhatatlan lélek fajtát. A lélek isteni magvát befogadni képes velő teljesen gömbszerű, ez az agyvelő (mivel a gömb a legtökéletesebb idom a térben). Az archaikus phrenész-elmélet visszhangjaként azt írta, hogy az érzelmi élet egy része a szív és a gyomor tájékán zajlik. A halandó lélek felső része a szívben van, és bemenetet kap az érzékszervekből, ez az ész parancsainak végrehajtója, tehát a cselekedetek forrása és a bátorság lerakata. A halandó lélek alsó része pedig a májban található, ez ellenőrzi az „állati” vágyakat és az érzelmeket; a csalárdságnak és a mohóságnak van elkötelezve, állandó felügyeletet és korlátozást igényel a halhatatlan lélek részéről. Az érzetek csak a lélek aktivizálására szolgálhatnak, passzívan tudomásul veszik a dolgok hatásait. A gondolkodás során az emberi elme bepillant az ideák világába, „ráismer” az örök, változatlan fogalmakra (az elvonatkoztatás eredményére). Az egyedi lélek ugyanis csupán kihelyezett része az egyetemes örök léleknek. Ezért van az, hogy már a születéskor magunkkal hozunk ideákat, amelyekre később „visszaemlékezünk”, amikor a gondolkodásunk már elért egy bizonyos fokot. (Ettől kezdve bukkan fel a természetfilozófiában a velünk született lelki tartalmak problémája.) A lélek gondolkodási folyamata szoros kapcsolatban van a beszéddel; ez emlékezteti vissza az emberi lelket az ideákra. Az emlékezés emellett az érzékszervek által felvett benyomások rögzítésére is szolgál (akár a viasztáblára írás, aminek eredményeként emlékezhetünk a leírtakra). A viselkedés irányításában felismert bizonyos „erővel jelentkező mozgások”-at, ezek szerinte érzelmelek vagy „állati szenvedélyek” termékei, a normális viselkedést zavarók, törvénytelenek és így a természetes viselkedésnek nem részei. Az emberi viselkedés ugyanis akaratlagos és ésszerű folyamatok eredménye. Az emberi akarat pedig a választásait illetően teljesen szabad, bármit diktál is az ésszerűség.

Az antik világ nagy rendszerezője, Arisztotelész a lelki működések középpontjának a szívet gondolta: végső soron a szív a felelős szerinte a mozgásért, a táplálkozásért, az érzékelésért, az észlelésért, a gondolkodásért. (Ez a gondolat talán Empedoklész elképzeléseiből eredeztethető.) Az agyat csak vérhűtő szerepűnek vélte, így az lenne a szervezet leghidegebb helye (ez jelentős

visszalépés Alkmaion, a hippokratészi iskola, de még Platón egyik-másik korábbi nézetéhez képest is). „Az állatok részeiről” című munkájában úgy vélekedett, hogy az agy nincsen összeköttetésben az érzékszervekkel. Arisztotelész írt egy művet „*Peri aiszthészeosz*” („De sensatione”, „Az érzékelésről”) és egy másikat „*Peri pszükhész*” („De anima”; „A lélekről”) címmel. A püthagoreus eredetű és Platóntól átvett hármass lélekfelosztást a különféle tökéletességi fokok szerinti *osztályozásra* használta: a legegyszerűbb, az anyagcsere jelenségeit irányító „*tenyésző*” lelkük van a *növényeknek* önfenntartó és reprodukciós képességgel; az *állatoknak* már bonyolultabb, az érzelmeket irányító „*érző*” lelkük is van, érzékelési, mozgási és vágyképességgel; egyedül az *embernek* van ezeken felül még „*értelmes*” lelke („*nousz*”, „*ész*”) is (ezért kell a legmagasabb rendű lénynek tekinteni). Az általa használt „*pszükhé*” (lélek) nem a modern értelmű értelmes szellem, hanem inkább az élőket élővé tevő forma kifejeződése, életerő vagy életprincípium (bár az állatok és az ember vonatkozásában már keveredik benne a viselkedés bonyolódása mögötti feltételezett irányító rendszer is). A lelki működések központjának, a „*közös érzés*” székhelyének a *szívet* gondolta – ez megint visszalépés Alkmaion tanaihoz képest (aki szerint a lélek „*székhelye*” az agy). A „*Peri pszükhész*” című könyvében öt *érezélestípust* és *-szervet* jellemezett: a látást a szemmel, a hallást a füllel, a szaglást az orral, az ízlelést a nyelvvel és a tapintást a bőrrel. Úgy gondolta, hogy az ellentétes érzetminőségeket különböző modalitások sokfélesége közvetíti, azokat az összes érzékszervünk segítségével fogjuk fel. Pl. a feketét és a fehéret a látással, a meleget és a hideget a tapintással. Megállapította, hogy az érzékszervek egyetemes tulajdonsága a külvilág tárgyainak *leképezése*. Ennek során az érzékszervekben a tárgyak formája jelenik meg mint érzéki lenyomat. Az érzéki benyomások összesítője a *lélek* központi működése, a „*közös érzés*” létrehozása; tehát minden érzékelés általános funkciója a „*közös érzés*” keltése a *szívben*, mivel az érzékszervek a szívvel csatornákon át állnak összeköttetésben. (A „*közös érzés*”-ből alakul majd ki a „*sensorium commune*”, „*józan ész*” elgondolása.) Így különböztette meg az *érezélest* („*aiszthétisz*”-t) és a *megismerést* („*gnószisz*”-t). Az előbbi a másodiknak csak első állomása. Hangsúlyozta az észlelésben a szervezet *aktív szerepét* abban a *válogatásban*, hogy érzékletek fontosak a tájékozódás, a szükségletek kielégítése és az életben maradás számára. Felismerte az *ézelmek* szerepét is az észlelésben. Az emberi lélek a fenntartó és tápláló erő mellett tartalmazza a mozgató és érzékelő erőt is, de még magába foglal csak rá jellemző megismerő képességet. A léleknek eme fokozatos általános fejlődése az ember egyedfejlődése során is lezajlik: az újszülött lelke még közelebb áll az állatokéhoz, de bizonyos idő után kialakul benne a megismerő, gondolkodó lélek is. A megismerés első állomása az érzékelés, a következő folyamat a szervezetben létrejövő *képzelet*, ami az érzékelés hatására meginduló belső mozgás következménye. A képzelet során szerinte a külső tárgy képe kialakul a lélek központjában. Az *emlékezés* e külső képek nyomainak összerendezéséből áll. A képzetek *társítása* (asszociációja) az érzetek és a képzetek időbeli összeérésén, a hasonlóságon és a kontraszton alapszik. Az *értelem* vagy ész nála sem tartozik a testekhez, hanem természetfölötti megnyilvánulás: a legmagasabb örök igazságok megismerésére szolgál a lélek számára.

Arisztotelész tanítványa, az ereszoszi Theophrasztosz foglalkozott az állatok szellemi képességeivel; *érezélesi képességet* és bizonyos okosságot tulajdonított nekik, de az értelmüket vitatta. Tizenöt kötetben összegyűjtötte a Szókratész előtti természetfilozófusok által taglalt témákat tárgykörök szerint. Ezek egyike „*Az érezélekről*” (csak töredékekben maradt ránk két XIV. századbéli kézirat nyomán). Ő alakította ki az első *jellemtant* (karakterológiát); egész sereg jellem ábrázolását adta, és felvázolta az egyes jellemek lélektani tulajdonságait.

Epikurosz szerint az *akarat* befolyásolhatja a *lélek* atomjainak mozgását (ezzel az erkölcsi felelősséget kézzel fogható materialista elvekkel magyarázta). A megmaradt munkái szerint úgy gondolta, hogy a *tudat* tkp. biológiailag nem lényeges mellékterméke a mögöttes *idegi történéseknek*; azoknak nem elsődleges működési eredménye, és nem is meghatározója a tevékenységeknek.

A leginkább materialista elképzeléseket a lampszakoszi Sztratón (i. e. 340 körül–268) fejtette ki a testről és a lélekről. A *test és a lélek egységét* hirdette; ezért szerinte az állatoknak is rendelkezniük kell *értelemmel*. A lélek teljesen egységes; az értelem pedig a lélek egészének a megnyilvánulása (és nem csak bizonyos részéé). Éppen ezért nem ismerte el a lélek és a „nousz” halhatatlanságát: a szervezet elpusztulásával a lélek és a „nousz” is megszűnik létezni. Az *érzékelés* központja szerinte is az *agyvelő*. Kifejtette, hogy az *álom* az érzékelő lélek („pneuma aiszthetikón”) működésével kapcsolatos: ez az álomban visszaidézi a korábbi érzéki tapasztalatokat.

A régi pneumatán továbbfejlesztői a sztoikus filozófusok voltak. Mesterük, a kitioni Zénón (i. e. 336–264) szerint háromféle pneumát kell megkülönböztetni: a legdurvább tartja össze a testeket, a finomabb felelős a *növekedésért* és a *nemzésért*, a legfinomabb hozza létre az *érzékelést* és a *gondolkodást*. Az állatoknak nincsen meg a legfinomabb pneumájuk, tehát nincs *értelmük* sem. A növények és az állatok – mint alacsonyabb rendű létformák – csakis az ember kedvéért teremtettek. A növények csak a növekedést jelképezik; az állatoknak már *ösztöneik* is vannak a saját életben maradásukról való gondoskodásra és a saját „én”-jüknek is „tudat”-ában vannak (vagyis van öfenntartási ösztönük). Ez megvan az emberben is, de az állat és az ember közti hasonlóság csak külsődleges: az állatok megnyilvánulásai az ember *értelmi tevékenységével* nem azonosíthatók, annak legfőbb csak előfokai. Ugyanis pl. az állatok hangadása még nem „nyelv”; az állatoknak nincs *fogalomalkotási képességük*; nem tudnak *különbséget tenni* a „jó” és a „rossz” között. Az egyed fejlődése során a pneuma a kívülről érkező érzéki hatások befolyása nyomán átalakul és maga is fejlődik, így alakulnak ki benne a gondolkodást lehetővé tevő erők.

Kevésbé spekulatív elgondolása volt – érthetően – az orvosoknak. Az alexandriai Hérophilosz felismerte az *agy* funkcióját: az érzékelés és a mozgás, a lelki élet mind összefüggésben van az agy tevékenységével. A pneuma a szívben összekeveredik a vérrel, itt megtisztul, átszűrődik és úgy jut az agy felé. A csodarecében újabb szűrése történik. Ezután a pneuma az agyi érfonatokon át behatol az agykamrákba. Az itt levő pneuma a felnőttekben az *értelem* anyaga. A különböző agyi sérülésekkor kialakuló tünetek alapján úgy gondolta, hogy az első agykamrában és a homloklebenyben a *képzeletet* hordozó pneuma lehet, a középsőben és a halántéklebenyekben az *emlékezet* pneumája, míg a leghátsóban és a nyakszirti lebenyben a *mozgásé*. A negyedik agykamra alapján látható bemélyedésben található az idegi működéseket összerendező és uralkodó központ, a „*hégemonikon*”. Az *érzékszervekből* az agyhoz sugározva a pneuma közvetíti az érzéki benyomásokat, az agy hátsó kamrájából az *izmokba* jutva pedig mozgást vált ki. (Ez az elmélete Galénosz közvetítésével az 1500-as évekig fennmaradt, és lényegében egyeduralkodó elmélet volt az idegi működések magyarázatára.)

A kósi orvos, Praxagorász Arisztotelészéhez közeli nézeteket vallott. A pneuma a *szívből* kiindulóan irányít minden *tudatos mozgást* és minden *lelki tevékenységet*. Szerinte az *érzékelés* szervei maguk az *idegek*.

Hérophilosz kor- és vetélytársa, a Khioszból származó Eraszisztratosz továbbfejlesztette orvostársa elképzeléseit a pneumáról és az agybeli lokalizációjáról. Az agyban az oda jutott pneuma „pneuma pszükhikon”-ná alakul át, és az erekkel párhuzamos és üreges *idegeken* át a szervezetben szétoszlik, ez okozza az *érzékelést*, illetve a pneuma általi izomkitágítás a *mozgást*.

Az agyfelszín tekervényezettségének különbségei alapján az *értelem* fejlettségét az agyvelő barázdáltságával hozta összefüggésbe. Megsejtette, hogy az *agy* az egész szervezettel kapcsolatban van. Úgy vélte, hogy a *lélek* (a „pneuma”) székhelye a *kisagyban* van.

A *sztoikus filozófusokkal* felgyorsult az a folyamat, amelyik kezdi a „pneumát” szellemnek, értelmes léleknek (vagyis a bonyolult viselkedés irányítójának) értékelni. Ők a szellemet és az anyagot egyaránt a „pneumá”-ra vezették vissza, sőt, gyakran azonosnak is tekintették azokat egymással. (Nagyon nagy jelentőségre tett szert a „pneuma” az orvoslásban; az ókor végére kiegészítette a négy testnedvről szóló tant; a szellemi tényezőként történt átértelmezésével alapjává vált a lélek betegségei magyarázatának.) A valamilyen *célra törekvést* – Arisztotelész nyomán is – a „hormé” kifejezéssel jelölték. (Sokan innen számítják az *ösztönök* elképzelését.) Mivel a pneumából minden élőlény részesül, ezért helyettük a „világlélek” gondolkodik, az élőlények alacsonyabb rendű *értelme* csak ennek része.

A „*Hippokratészi Gyűjtemény*” összeállítóinak „*A szent betegségről*” című könyve a betegségeket természetes eredetűeknek tartotta; azokat szentnek csak a csodadoktorok és a sarlatánok vélik. A gyönyör, a nevetés, a vidámság, a szomorúság, a fájdalom, az aggodalom és a könnyek forrása nem más, mint az *agy*. Ez teszi lehetővé a gondolkodást, az érzékelést, az ítélőképességet, de ez a székhelye az örületnek, a félelemnek, az ijedtségnek, ez az oka az álmatlanságnak, az alvajárasnak, a felejtésnek is. Ezért a *gondolat* és az *érzelmek* nem lokalizálhatók a szívbe. Az irat szerzője leírta az epilepsziás aura idején az érzeteket és az érzelmi tüneteket. Szerinte a *fájdalom* gyakran érezhető a fej egyik vagy másik oldalán, ezt kapcsolatba hozta a *két agyféltekével*. Az *epilepsziát* eme irat szerint az agyból leszálló phlegma okozná azzal, hogy megakadályozza a pneuma vérerekbe belépését. Voltak primitív elképzeléseik a hallásról és a látásról is. Leírták az *agy és a gerincvelő sérüléseit* bénáknál, az ekkor fellépő érzékelési zavarokat, a vizelet- és székletürítés rendellenességeit. Polübiosz iratában és más művekben is Hippokratész tanítványai és követői a négy testnedv keveredési arányaira támaszkodva kidolgoztak egy *lelki alkattant* is. Ezek a „hippokratészi” lelki alkatok: a vérmes (szangvinikus), akiben a vér túlsúlya dominál, a meleg és nedves vidékekre jellemző, erős, kiegyensúlyozott, élénk; a nyugodt, közönyös (flegmatikus), akinek működései elsősorban a nyálkától függnék, és a hideg, nedves éghajlat mellett gyakoriak, erős, kiegyensúlyozott, renyhe; a mélabús, komor (melankolikus), akiben a „fekete epe” teng túl, a hideg és a száraz vidékek jellegzetes alkata, gyenge, kiegyensúlyozatlan, renyhe; a lobbanékony (kolerikus), akiben a sárga epe a meghatározó, és a meleg, száraz vidékeken fordul elő leginkább, erős, kiegyensúlyozatlan, élénk.

Foglalkozott az állatok viselkedésével az apameai Poszeidóniosz (i. e. 135–50) is. Szerinte az állatokban is van egy „*belső képesség*” („szüszasztaszisz”), és ez nem mutat lényeges különbséget az „erkölcs nélküli” állatok és az „erkölcsös” emberek között. Az állatokból viszont hiányzik az *elvonatkoztatási képesség*: csak az egyes dolgokra reagálnak, de általánosítani nem tudnak. *Képzeteik* – ha vannak – homályosabbak és kevésbé biztosak, mint az emberéi. A társas életükben viszont megfigyelhető az egymás *kölcsönös megsegítése* is.

Epikurosz materialista nézeteit fogalmazta költeménybe Lucretius Carus (i. e. 99–55). A *szag élményének* keletkezését pl. úgy magyarázta, hogy a garatban különféle alakú és nagyságú „pórusok” vannak, amelyekbe az alakjuktól és a nagyságuktól függően a szagot okozó anyagok részecskéi beleilleszkednek, és így váltják ki a szag érzetét.

Az enciklopédista Caius Plinius Secundus „*Historia naturalis*”-a VII. könyve az *ember* leírása. Szerinte az *érzések* központja nem a *szív*, hanem az *agy*. Ebben a könyvben az ember haláláról írva tagadta a *lélek túlvilági létét*.

Az állatok és az ember lelki működéseinek összehasonlításával foglalkozott a khaironeai Plutarkhosz (45 körül–125) platonista filozófus és író. Az állatok ravaszságáról írt művében és „Grüllosz” című munkájában foglalkozott az *állatok lelkével és értelmével*. Ezekben szembeszállt a sztoikusok elgondolásaival; a cinikusokkal egyetértve az állatokat nemesebbnek tartotta az *embernél*. Egy szatirikus hangú művében („Miként használják a néma állatok az értelmüket?”) arról írt, hogy az állatok különbek az embernél, mert nem ismernek számos emberi rossz tulajdonságot és nem tesznek semmi haszontalant. A „Vajon a szárazföldi vagy a vízi állatok értelmesebbek?” című művében kifejtette, hogy a sztoikusok nézetei azért vetendőek el, mert ők szembeállítják a halandót a halhatatlannal, a testit a szellemivel, és ezért lebecsülik az állatokat. Pedig az állatoknak is van értelmük: vannak törekvéseik, céljaik, elkerülik a számukra ártalmas dolgokat, tudnak emlékezni és megfontolni; rendelkeznek tehát „dianoészisz”-szel (*intelligenciával*). Az ember és az állatok értelmi képességei között csak fokozati különbségek vannak; bizonyos képességekben az ember jobb, másokban viszont az állatok sokkal tökéletesebbek is lehetnek. A sztoikusok szerint csak az ember törekszik az erény gyakorlására, ez ellen azt veti, hogy a rossz embereké vajon arra irányul-e. Igaz, hogy a sztoikusok szerint az állatok nem ismerik a jogot, de éppen az ember feladata közeledni az állatokhoz és megszüntetni a jogtalan elpusztításukat (állatviadalok, vadászat, halászat). Az állatok *érzelmi világa* is sokrétű. (Munkássága azonban sok tekintetben nélkülözi a tudományos megbízhatóságot; csodálatos történetei az állatmesékkel állnak azonos színvonalon.) A húsevésről írt kétrészes munkájában azt fejtegette, hogy a *húsevés* nem tartozik az emberi természet lényegéhez, sőt, káros a szellemi képességekre nézve. Az ősembert is csak a szükség kényszerítette rá, de a kortársaknál már csak káros szenvedélynek lehet tartani. Szerinte az *emberi haladás* egyik jelzője az *állatok iránti részvét* foka. Ugyanis Püthagorasz nézeteinek híveként hitt abban, hogy az élőlények lelkei egy végtelen egységben kapcsolatban állnak egymással.

Az attaliai Athénaiosz (50 körül) Arisztotelész nyomán a *mozgás* és a *gondolkodás* központi szervének ismét a *szívet* tartotta. Nála a „hégemonikón” nem pusztán lélek, hanem anyagi valóság testi és lelki tevékenységgel.

Kortársa, az epheszoszi orvos, Ruphosz (latinosan Rufus; 50 körül) úgy vélte, hogy az ember minden tevékenységét az *idegek* irányítják.

Az alexandriai zsidó filozófus, a 70 körül alkotó Philón a platóni felfogásnak megfelelően és annak elkötelezetten támadta a sztoikusok elképzeléseit az *állatok értelméről*, szerinte az állatoknak nincsen értelmük, csak az *embernek* van.

Az orvosi empíria alapján nem teljesen spekulatív és nem is erkölcsi szempontú, ám eklektikus elképzeléseket alakított ki a viselkedésről, az érzékelésről, a gondolkodásról és a lelki tevékenységekről Klaudiosz Galénosz. A nervus laryngealis recurrens elkötésével és a viselkedés megfigyelésével igazolta azt, hogy az *agy* irányítja a *hangadást*: amikor az ideget az élő állatban átmetszette, megszűnt annak visítása. A *májban* létrejött természetes pneuma szerinte már a *lélek* egyik része: az alacsonyabb rendű testi *szükségletek* és *vágyak* hordozója. Az *agyvelő* a hozzá áramló vérből vonja ki a „pneuma pszükhikon” anyagát; belőle az *agykamrákban* keletkezik a lélek legmagasabb rendű anyaga, a „*lelki pneuma*” (pneuma pszükhikon, spiritus animalis), ami az *emberi értelem* és a szellem hordozója. A pneuma ugyan az agykamrákban mozog, de a *lélek* maga mégsem az agykamrákban van, hiszen az állatok is és az ember is túlélheti az agykamrák sérüléseit. A racionális lélek az *agy állományában* helyezkedik el, mert amikor az állatok agyállományát összenyomta, akkor az érzékelésük, a mozgásuk és a viselkedésük zavart szenvedett. (Ha a szívet nyomta össze, az nem okozott érzékelési zavart. Tehát kifejezetten

ellentmondott Arisztotelésznek a lélek székhelyét illetően.) Viszont a *szenvedélyeket* irányító pneuma a *zsigerekben* lelhető fel. (Ez az elgondolás Platón hatását tükrözi.) A pneuma pszükhikon az *idegeken* át járja át a szervezetet. (Eme hit alapján vélték úgy egészen a XVIII. századig, hogy az idegszövet mirigyszerű, elválasztó működésű.) Az agy tehát az *érzékelés* székhelye, a *mozgás* irányítója és a *gondolkodás* végrehajtója. Szerinte azonban az *értelem* nem az agyi tekervényekkel van összefüggésben (ahogy Eraszisztratosz állította). Az *érzékszerveket* csak az agykamrából beléjük hatoló pneuma pszükhikon hozza működésbe; így keletkeznek az érzékszervekben a speciális, érzékelő pneumák. (A következő évszázadokban a „pneuma” a vér által szállított finom anyagból anyagtalan „lélekké” változik majd át; ahogy ez a folyamat már a sztoikusok filozófiájában elkezdődött.) Az *érzékelés* maga a „hasonló a hasonlót” elv alapján történik. Egyszerű kísérletekkel (pl. elszigetelten történt felneveléssel) bizonyította, hogy a *viselkedés* bizonyos elemei *veleszületettek*. Császármetszéssel kivett kecskét nevelt fel izoláltan, és megfigyelte, hogy az ki tudja választani a tejet tartalmazó palackot előzetes tapasztalat nélkül is. A hippokratészi nedvelméletben is szereplő négy testnedv egyikének a túltengése alapján különböztetette meg a betegségeket, a vérmérsékleteket vagy *lelki alkatokat* (az ún. „hipokratészi temperamentumok”-at): a bús és komor melankolikust (a „fekete epe” fölöslege okozza), a hirtelen fellobbanó vérmes szangvinikust, a mérges kolerikust és a nyugodt, közönyös flegmatikust.

Claudius Aelianus 17 könyvből álló művének fejezetei egy-egy *állatfaj viselkedését* tárgyalják. A közel 1000 állatot említő mű megfigyelések, történetek és anekdoták gyűjteménye, gyakran erkölcsi célzattal. Előszóval ecsetelte benne a viselkedési különlegességeket. (E műben olvasható Androklész és az oroszlán, valamint Arión és a delfin története.) A cinikusokkal egyetértve ő is úgy vélte, hogy az *ember* kapzsiságával, erkölcstelenségével és természetellenességével szemben az *állatok* sokkal természetesebbek és erkölcsösebbek. A sztoikusok nézeteivel szemben úgy vélte, hogy az állatoknak is van önálló *értelmük*, emlékezőképességük, és nem a „világlélek” gondolkodik helyettük.

Az elme zavarait először Poszeidóniosz (350 körül) orvos próbálta rendszerezni. Szerinte az *elmezavaroknak* három formája lehetséges: 1. az érzékelés, 2. az értelem és 3. az emlékezés rendellenességei. Az *érzékelést* a *nagyagy* elülső lebenyére, az *értelmet* az *agykamrák* körüli középső részére, az *emlékezést* pedig a nyakszirti lebenyre lokalizálta. Az elme többi bántalmának is szervi magyarázata lehet szerinte; beszélt „lethargosz”-ról, „melankhóliá”-ról, „katalepsziá”-ról, „epilepsziá”-ról, „lasszá”-ról.

7. Szaporodás, öröklődés, egyedfejlődés

A szaporodás az élőlényeknek az a képessége, hogy saját magukhoz többé-kevésbé hasonló szerveződésű új élőlényeket hoznak létre, ezzel a képességgel biztosítják az egyedi pusztulásuk ellenére is a faj új egyedekben való képviselését. Az előd(ök) és az utód(ok) összehasonlításából hamar rá lehetett jönni, hogy az utódok az elődök számos tulajdonságát öröklik, hiszen sok mindenben hasonlítanak az elődeikre. Néha azonban észrevehető eltérés is a szülőktől; így az öröklődés és a változékonyság összetartozó jelenségek. Az utód létrejöttével megkezdődik annak pusztulásáig tartó egyedfejlődése, ami a kívülálló szemlélő számára több szakaszon halad át.

Az ókori görögök és rómaiak a szaporodás, az öröklődés és az egyedfejlődés jelenségei terén nagyon sok mindent megfigyeltek, de nem tudtak olyan áttörően újat produkálni, mint pl. az állattanban, a növénytanban vagy az élettanban. Többnyire megelégedtek a szomszéd népeknél már jóval korábban kialakult nézetek átvételével, és azokat kissé továbbfejlesztették.

A legnagyobb eredménynek talán az egyedfejlődés mikéntjéről folytatott spekulációk tekinthetők, elsősorban Arisztotelész erre vonatkozó gondolatai.

Alkmaion a *nemzést* úgy képzelte el, hogy a nemző mag vagy csíra az agyban (mint legfőbb irányítóban) termelődik. Megcáfolta azt az akkor közkeletű vélekedést, hogy az *ondó* a gerincvelőben termelődne. Kísérletesen ugyanis megállapította, hogy a párzás – és így az ondókilövellés – után a gerincvelőből nem hiányzik az ondónak megfelelő anyagmennyiség. Elemezte az *embriók fejlődését* is madártojásokban. Észrevette, hogy az embrióban elsőként a fej régiója különül el. Ebből is azt a következtetést vont le, hogy az agy a legfontosabb szerv. A *nemek* keletkezését és az *öröklődést* úgy képzelte el, hogy a női és a férfi nemző mag harcban áll egymással; ennek kimenetele a mindenkori maganyag mennyiségétől és a minőségétől függ. (Így ő tekinthető az *embriológia* megalapozójának is, és ezzel mindjárt feltalálta az időbeli összehasonlítás módszerét.)

Parmenidész (i. e. 470 körül) először képviselte azt a nézetet, hogy az emberi *test két oldala különböző értékű*: a jobb oldal az erősebb és az ügyesebb. Az *embrió* vagy *csíra* létrehozásában mindkét szülő nemző magja részt vesz; a férfi testének jobb oldalából származó mag hímnemű gyermeket hoz létre, a nő jobb oldali méhrészből kiválasztott nemző mag az apához hasonló; az ellenkező testoldalból származó magokból nőnemű gyermekek nemződnek, akik az anyához lesznek hasonlóak.

A klazomeai Anaxagorasz is úgy vélte, hogy az anya *jobb oldalán* a fiúk, a *bal oldalán* a lányok fogannak és fejlődnek ki. A *sperma* (vagyis a nemző mag) a férfitől származik, a nők csak a *csíra* tápláló anyagait és a fejlődésének a helyét adják. A gyermek *nemét* is egyedül a férfi sperma határozza meg: ha a férfi jobb („férfias”) oldaláról származik, akkor az fiú lesz, ha a bal (azaz „női”) oldaláról, akkor meg leány. Szerinte az apai spermában és a *csírában* benne vannak a hajszálak, a körmök, az erek, az idegek és a csontok, csak kicsiny voltak miatt nem láthatók. (Tehát a szervek előre elkészítettségét, a preformációt hirdette.) A legelső szerv, ami a csírában növekedésnek indul, az az *agy*.

Nagy jelentőségű volt az apollóniai Diogenész (i. e. 450 körül) feltehetőleg a keleti népektől átvett elmélete az öröklődésről, elsősorban azért, mert ezt a logikusnak tűnő spekulációt sokan átvették (és az elképzelés igen sokáig tartotta magát, egészen a XIX. századig). A *pángenezis*-elmélete szerint a szervek valamiféle csíraanyagokat juttatnak a *vér* útján a *nemző magba*. (Ezt az ősi, téves elképzelést a nyelv még a mai napig is őrzi olyan szófordulatokban, mint „vérrokonság”, „testvér” stb.)

Az akragaszi Empedoklész meg azt gondolta, hogy az *utód nemének meghatározásában* a *méh* hőmérséklete játszik döntő szerepet: a nemileg semleges nemző mag sorsát az dönti el, hogy meleg vagy hideg méhbe jut-e. A meleg méhben ui. fiú, a hidegben pedig lány alakot vesz föl a *csíra*. A férfit a meleg, a nőt hideg jellemzi; a termékenyítés a meleg, a terméketlenség a hideg minőségre vezethető vissza. (Ez az elképzelés hozzájárult a hippokratészi nedv- és alkattanhoz.)

Az i. e. 450 táján működő rhegioni Hippon, a püthagoreusokhoz közel álló orvos szerint a *nemző mag* – a régi elképzelésnek megfelelően – a *gerincvelőből* képződik. (Alkmaionnal és a püthagoreusokkal egyetértve ő is úgy vélte, hogy a fej, illetve az *agy* a pneumát szállító edényrendszer központja és eredése.) Elgondolása az volt, hogy a gyenge női *nemző mag* nem rendelkezik igazi nemzőképességgel, míg az erős férfi nemző mag rendelkezik vele. A női mag csak a *csíra* táplálására szolgál.

A Diogenész közvetítette pángenezis-elméletet a görögök számára Démokritosz formulázta meg részleteiben. *Pángenezis*-elmélete biológiai jelentőségű. Eszerint a test különböző,

legfontosabb részeiből (csontok, hús, izom) származó szilárd részecskék a *csírarsejte*be kerülnek, és valamilyen módon (a legtöbb elgondolás szerint a vér útján) az utódok testébe jutnak. A *nemző magot* a férfi is és a nő is termeli; a sperma a szülő részeinek végtelen kicsiny leképeződése: a sperma egyes atomjainak a kapcsolatai pontosan megfelelnek a test azon részeinek, amelyekből erednek. Az apai és az anyai magrészek között harc folyik, ebben a túlnyomó és uralkodó magrész fogja meghatározni a *gyermek nemét* is. Így az élet során *szerzett tulajdonságok* is átadódnak az utódoknak. (Természetesen ő sem tudott tehát különbséget tenni az őstől örökölt és az élet során szerzett tulajdonságok és öröklésük között. Ez az elképzelés majd két évezreden keresztül tartotta magát.) Foglalkozott az *egyedfejlődés* kérdéseivel is, így pl. azzal, hogy az éghajlati és az időjárási tényezők miképpen befolyásolják a magzat kihordásának idejét, vagy hogy milyen tényezők hatására fejlődnek ki az egyes állatok sajátos szervei (mint pl. a szarvak).

A „*Hippokratészi Gyűjtemény*” egyik legfontosabb irata Polübiosz könyve „*Az emberi természetéről*” (De natura hominis). Ebben a műben fejti ki, hogy a *vérerek a nemző mag* vezetékai is egyben. Ugyanis az agy által termelt nemző mag a fejből a fülön, a háton, a gerincoszlopon és a lágyékizomzaton át vezető véreken át juthat a *herék*be. A „*Peri diaitész hügieinész*” („Az egészséges életmódról”) című irat szerzője (talán maga Hippokratész) azt állította, hogy az *utód* a férfi és a nő által kiválasztott *részecskék keveredésének* eredménye. E részecskéket is a tűz és a víz alkotja, a tűz a férfias, a víz a nőies jelleg hordozója. Mind a nő, mind a férfi kiválaszt mindkét féle részecskét. Ha mindkét szülő tüzes részecskéje találkozik, akkor típusos fiúgyermek, ha mindkét szülő vizes részecskéi keverednek el, akkor típusos lánygyermek lesz az eredmény. További lehetséges változatok: a fiús lány vagy a lányos fiú. Ha az apa vizes magva dominál az anya tüzes magva fölött, akkor a gyermek férfias tulajdonságokkal megvert lány lesz, ha viszont az anya tüzes magva győz az apa vizes magva felett, akkor „androgünosz” (azaz hermafrodita) születik.

Érdekes spekulációt adott elő az emberi *nemek eredetéről* Platón. Az eredetileg egységes, kétnemű ember is két félre szakadt, így lettek férfivá és nővé, azóta is keresi a férfi a nőt, mint a saját maga másik felét. (Jól látható ezen is, hogy az akkor érthető spekulációk valóságos tények helyett beérték költői metaforákkal is.)

A legtöbb és leginkább rendszerezett spekulatív ismeret e területen is Arisztotelésztől származik. Arisztotelész egyik zoológiai műve a „*Peri zoón genészeosz*” („De generatione animalium”, „Az állatok keletkezéséről”), amelyben a szaporodásról, az egyedfejlődésről és az embrió életéről írt. Vizsgálódásának tekintélyes részét szentelte a *szaporodásnak*, az *öröklődésnek* és a *leszármazásnak*. Szerinte az *öröklődés* (Diogenész és Démokritosz pánenezis-elmélete nyomán) úgy történik, hogy a szervezetek részei kiválasztanak a *vérbe* valamiféle anyagi részecskéket a meleg hatása alatt a táplálékból, ami aztán a hímek *ondójában* („sperma”) gyűlik össze; tehát az új élet nemzésekor a forma hordozója („pszükhé”-je) a hím mag. Elképzelése szerint a gyermek a férfi ondó (a nemző mag) és a női vér egyesüléséből keletkezik; a hím nemző mag szolgáltatja a mozgást és adja az alakot, a nőstény vére pedig az anyagot az utód testébe. A nőstény tehát az anyag princípiuma, míg a hím a nemzés princípiuma (a nőstény „magában nem”, míg a hím a nőstényt megtermékenyíti). A sperma testi anyagából semmi nem jut át a csírába, hanem „elpárolog”, és nem anyagi formaként hat a női vérből képződött anyagra. Ez a nem anyagi forma a fejlődés kiiindulópontja és célja. (A tulajdonságok örökítője tehát kizárólag a hím sperma.) A sperma szerinte az *ondóvezeték*ben keletkezik; a *heréknek* szerinte nincs szerepük a nemző mag termelésében (ui. halakban és kígyókban nem talált heréket, és pontatlanul figyelte meg a spermaverőér és a sperma-gyűjtér lefutását). A *menstruációkor* a meg nem termékenyült vér folyik el. Empedoklész nyomán úgy vélte, hogy a nőben a hideg nem vezet a nemző mag kialakulására, a

táplálék ezért csak annak közvetlen előfokává, vérré tud feldolgozódni. (Eme gyengeség miatt a nő alacsonyabb rangú, mint a férfi.) Négyféle *szaporodási* módot tudott megkülönböztetni: 1. az élőlények abiogenetikus eredetét a nem élő anyagokból, főleg az iszaphól (az *ősnemződés* szerint); 2. a *bimbózást* (mint nem ivaros szaporodást) az alacsonyabb rendű állatoknál; de ismerte a *szűznemzést* (pl. növényeknél, méheknél, halaknál); 3. az *ivaros szaporodást* párzás nélkül; 4. az ivaros szaporodást párzással. Ez utóbbiakat tartotta a legfontosabbnak és a leggyakoribbnak is az élővilágban. Vizsgálta és összehasonlította a *kasztráció* hatásait madarakban és emberben. Leírta, hogy ha a még ki nem fejlődött kiskakast ivartalanítják, akkor a taréj színeződése, a kukorékolás, a párzási próbálkozásai felnőttkorban nem jelennek meg. Észrevette, hogy néha olyan tulajdonságok jelennek meg az utódokban, amelyek a távolabbi felmenő ősökben voltak megfigyelhetők. A csirke embrió fejlődésének megfigyelésekor a harmadik napon észrevette az embrió szívének lüktetését mint piros vérfolt eltűnést és eltűnést. Belőle szerinte két gyűjtőeres vezeték kanyarog ki (feltehetőleg a szívpitvart nézhetné májnak). Felvetette, hogy az *egyedfejlődés* kétféleképpen valósulhat meg: 1. a már meglévő preformált anyag növekszik, 2. a kezdeményekből új szerkezetek fokozatosan bontakoznak ki – vagyis *epigenezis* történik. Arisztotelész inkább az epigenezis hívének tűnik. A tojás fehérjéjét azonosította az embrió testével, a sárgáját pedig tápanyagnak gondolta. A szervek képződésének irányítója a *szív*. Azért tudja ezt a funkcióját ellátni, mert a meleg és a „pszükhé” (a formaelv) termelője.

Theophrasztosz kezdeményezése utána az ugyancsak ereszoszi Phaniász (i. e. 300 körül) írt egy nagy művet a növények *magvairól* és a *szaporodásukról*. (Csak töredékek maradtak ránk belőle.)

Az epikurosz tanokat nagy és híres tankölteményben hirdető Lucretius Carus a művében azt is elmondta, hogy a *szülők teste* sok nemzedéken át rejtett atomokat hordozhat, amelyek a *nemzés*kor egy napon hatékonyá válnak, és ezáltal az ősök sajátosságait a gyermekekre átviszik. (Ezzel próbálta magyarázni a több nemzedéken keresztüli *öröklődést*.)

A női nemi szervek anatómiájával és működésével a késő ókorban több orvos is foglalkozott. Így pl. Ruphosz (latinosan Rufus) megint pontosan leírta a *női nemi szervek* anatómiáját. Foglalkozott a többes magzatképződéssel és a női meddőséggel is. Még jelentősebb az epheszosi Szóranosz (85?–145 körül) munkássága. Szerinte a *méh* gömb alakú szerv, amely a *magzat* kifejlődésére szolgál, a környezetéhez hárttyák („hymen”) erősítik; tudta, hogy izomból áll és vérereket is tartalmaz. Ismerte a *petefészkét* és a *petevezetéket* is. Úgy gondolta, hogy a *méhszáj* *havivérzés*kor és *közösülés*kor megnyílik. Kimutatta, hogy a havivérzés (menstruáció) nem mindig esik egybe a holdfogyatkozással. Részletesen elemezte a *fogamzás* jeleit, a *megtermékenyítést* eredményező *közösülés* módjait. Tudott arról is, hogyan *fejlődik a pete* a méhben. Ő fektette racionális alapokra a *szülésetet*. (Négy részben megírt nőgyógyászati-szülészeti munkája az egyetlen teljes ilyen munka, ami az ókorból ránk maradt.)

Sokat köszönhetünk Klaudiosz Galénosznak is. Ő Hérophiloszt kijavítva felfedezte, hogy a *petevezeték* a *méhbe* szájadzik. A férfi és a női *nemi szerveket* analógoknak gondolta; szerinte a *petefészek* a női here. Így feltételezte a *női nemző mag* létezését is. Úgy vélte, hogy a *megtermékenyülés* a férfi és a női *nemző nedvek* egyesülésével jön létre; az utód szíve és mája az anya véreből, míg az agya a férfi magvából lesz. Azt tartotta, hogy a nemi nedvek visszatartása betegséget okozhat, ezért gyógymódnak néha javasolta a *közösülés* vagy az *önkielégítés* fokozását. Az eunuch testalkatát elemezve rájött, hogy a nemi szervek eltávolítása után a *másodlagos nemi jellegek* (pl. a sörény, taréj, agyar, szarvak megléte, testalak, szőrösödés stb.) is megváltoznak, tehát kapcsolatban vannak a herék, illetve a petefészek működésével.

8. Az élővilág fejlődéséről

A természet és benne az élővilág valamiféle fejlődéséről az ión materialista természetbölcselek alkottak először spekulációkat. Az orfikus hagyományú és püthagoreus iskolák nem fejlődést, hanem harmóniát tételeztek fel a kozmoszban.

Thalész szerint az élet lényeges eleme a víz. Az élet keletkezésében is a víz játszotta a fő szerepet. Anaximandrosz (i. e. 611?–546) szintén a vízből magyarázta az élet keletkezését is, a halakhoz hasonló vízi élőlényekből pedig az ember létrejöttét. Szerinte a gömb alakú Földön az *élet spontán jöhetett létre* a mocsarakban, a tenger iszapjában; az *élőlények* általában a naptól elpárologtatott nedvességből képződnek; az első szervezetek a vízben éltek. Ezért az első élőlények a halak voltak, amelyeket tüskés bőr borított. A halak leszármazottai aztán elhagyták a vizeket, kikerültek a szárazföldekre, ahol belőlük keletkeztek a többi élőlények átváltozással. (Ez az *első ésszerű fejlődélmélet* a biológia történetében, bár az *ősnemződés* alapján állt.)

A letúnt korok élővilágával először a kolophóni Xenophanész (i. e. 580 körül–?) foglalkozott. A hegyekben *megkövesedett tengeri kagylókat*, tengeri állat- és növénymaradványokat talált. Arra következtetett, hogy ezek a *kövéletek* nem azonosak az éppen akkor élőkkel, de rokonaik lehetnek, ezáltal az *élővilág ősi állapotát* tükrözhetik; arra is utalhatnak, hogy a hegyeket valamikor tenger boríthatta. (Ezekkel a gondolatokkal ő tekinthető az *őslénytan* megalapítójának.)

A klazomenai Anaxagorasz (i. e. 500–428) az *élőlényeket* szintén a *nedvességből* származtatta. Az állatok szerinte a Földre hullott magvakból eredtek; ugyanígy a növények is, amelyeknek összes magvait a levegő tartalmazza. A magvakat az *eső* veri le a földre, és így jönnek létre a növények.

Empedoklész a *fejlődést* a szükségszerű és a véletlen egymásra hatásából magyarázta; úgy vélte, hogy ennek nyomán a létrejövő létezők pedig egyre tökéletesebbek lesznek. Szerinte az *élők* a *földből* keletkeztek. A létezők kezdeti zavaros állapotából először a növények, aztán az alacsonyabb, majd a magasabb rendű állatok keletkeztek, és végül az ember jött létre. Szerinte eme ellentétes hatások „szerelték össze” a szétszórta keletkezett tagokat és szerveket szervezetekké, élőlényekké; az eredetileg egymáshoz nem tartozó részekből illeszkedtek össze az élő egyedek. A részek véletlenszerű egyesüléséből képződött *életképtelen és gyenge egyedek kihullásával* magyarázta a végleges formák kialakulását. A lények második nemzedéke – mivel az egyes részeik már összenőttek – különös alakú testtel jött a világra, a harmadik nemzedék már többé-kevésbé ép testű volt, a negyedik pedig már az előbbi részeiből szakadt ki. (Ez a „legalkalmasabb életben maradásának” elképzelése; hipotézisét Darwinig nem vették komolyan az *evolúció* magyarázatában.) Xenophanész nézeteit továbbfejlesztve úgy vélte, hogy egyes állatfajok is a különböző elemek keveredése következtében lettek víziekké, illetve szárazföldiekké, míg a „nehezebbek” meg a földön élnek – attól függően, hogy melyik elem van bennük túlsúlyban.

Az atomista Démokritosz az *élőlényeket* a *nedvesség* felmelegedéséből származtatta. Az első élőket lágy hártya vehette körül. Később a melegedés miatt e könnyű burkok felrepedtek, és különféle lények bújtak ki belőlük. Amelyek a legtöbb hőben részesültek, azok váltak *szárnyasokká*, a földszerű összetételűek pedig a *csúszómászók* és más szárazföldi lények, a leginkább nedves természetűek *vízi állatokká* fejlődtek. Amint a Föld kérge a Nap melegétől egyre kevésbé lett nedves, az ősnemzésszerű szaporodás helyett az egyedek attól kezdve *párosodással* hozták létre az utódaikat. Először az *emberek* is ilyen állatias, zavaros életmódot folytattak, a hangjuk csak később tagolódott *szavakká*, és később állapotuk meg *közös jelekben*. Az embert a

kezdeti állati állapotból a szükség és a tapasztalat emelte ki; ebben segítségükre volt a *kezük*, a *beszédük* és az „*éleselméjűségük*”.

A filozófus Platón fordított fejlődésmenetet gondolt ki. Szerinte az *állatok* az *emberből* fokozatos visszafejlődéssel jöttek létre.

Arisztotelész az élet létrejöttéről úgy gondolkodott, ahogy elődei is: az élőlények *ősnemződéssel* keletkeznek szerves anyagokból (talajból, iszapból); ezekből magasabb szervezetségű lények támadnak, míg az alacsonyabb fokú szervezetségűek a magasabb rendűek rothadó, bomló testdarabjaiból keletkeznek. Az élőlényé szerveződés a forma aktiváló ereje által történik. (Ez az ősi eredetű nézet nem számol többé teremtéssel, ám abban a vélekedésében, hogy élőlények ma is így jönnek létre, már téved.) Felismerte továbbá, hogy a *fajok nem stabilisak* és változhatatlanok; megpróbálta osztályozni is őket, de evolúciós elképzelést nem dolgozott ki. Nem fogadta el a természet általi kiválogatásra utaló jelzéseket, inkább céloki-célszerűségi magyarázatokat próbált alkotni (vagyis úgy vélte, hogy „a természet semmit sem tesz hiába”, minden az *alkalmazkodáson* múlik).

Érdekes, hogy az Arisztotelész-tanítvány Theophraszosz a „*Zóika*” címmel alkotott töredékes műve szerint kétkedve fogadta az *ősnemzés* tanát.

Ugyancsak földi csírákból és nem spontán keletkezéssel magyarázta az élők létrejöttét Lucretius Carus. Tankölteményében az *előlények keletkezését* úgy magyarázta, hogy minden a *földből* jött a világra (ezért „méltán tett anya névre szert Földünk”). Először fát és füvet termelt, aztán állatokat is szült. Elvetette azt a nézetet, hogy az élők az égből hullottak volna vagy a sós pocsolyákból, iszapból bujtak elő.

Az erkölcs-, sőt, vallásfilozófiába átmenő bölcsélet a megkövesedett valamikori lényeket is az eddigiektől eltérően értelmezte. Tertullianus (155–222) egyházatyja pl. az *ősmaradványokat* már a vízözön tanúbizonyságainak tekintette.

9. Egyedek fölötti szerveződések, környezeti kölcsönhatások

Jóllehet az antik korban élt görögök az élőlény-egyedeket tekintették a biológiai organizáció legmagasabb fokának (egyedül az embert gondolta Arisztotelész „zoón politikón”-nak, társas lénynek), azért észrevették, hogy 1. az egyedek működései mennyire függenek a környezetüktől, illetve 2. hogy az egyedek nem önmagukban élnek, hanem egymással valamiféle kölcsönös kapcsolatokban. Mégis az ezirányú ismereteik és felismeréseik még inkább csak a biogeográfia szintjén vannak.

A halikarnasszoszi Hérodotosz (i. e. 485–425) athéni történetíró az utazásai során tett geográfiai és néprajzi, zoológiai és botanikai megfigyelései jelentős biológiai ismeretanyagot gyűjtöttek össze. Leírta pl. különféle *állatok viselkedését* és szokásait is. Éles szemmel látta meg az *összefüggéseket* az *ember* és az *élő természet* között és a természet egészében is. A növényeket, az állatokat és az embert egy kölcsönös kapcsolatokkal átszótt nagy egység részeként írta le. Figyelt a környezeti tényezők hatásaira. Észrevette pl., hogy a *hideg klíma* a *szarvképződést* gátolja, a meleg meg serkenti. Különösen nagy érdeklődést mutatott az *együttélés* (a szimbiózis) jelenségei iránt. (Pl. a Nílus vidékének leírásakor tárgyalta a krokodilus és a trokhiilosz madár kapcsolatát.) Mindig érdeklődéssel tárgyalta az egyes fajok *szaporodását*. Leírta Egyiptom, Aithiopia, India és Arábia állatait, növényeit és embereit. Indiából említette az „aranyásó hangyák”-at (lehetek rágcsgáló mormoták vagy bengáliai tobzoskák). Szerinte a Természet bölcsen úgy intézkedett, hogy a félnék állatok igen szaporák, míg a veszedelmeseknek kevés utóduk van (ezzel megsejített valamit a ragadozó és a zsákmánya szaporodási viszonyaiból).

Theophrasztosz értékelte a Nagy Sándor hadjárataiban szerzett botanikai ismereteket is; az indiai növényzetről szóló részek már a *növényföldrajz* csírái. Itt először bukkan fel az „oikészisz” fogalma, ami az élőlénynek a fizikai környezetével való kölcsönhatását fejezte ki. (Ebben már a modern ökofiziológia megsejtése tűnik fel.)

Felismerték a környezet által előidézett hatásokat az orvosok is. A „*Hippokratészi Gyűjtemény*” „*Peri tón aérón, hüdátón, topón*” („A levegőről, a vizekről és a helyekről”) című irata i. e. 370 után keletkezett. A második részében a betegségek okairól szól. Kifejti, hogy az ember testi, lelki adottságaira és a betegségeire hatással vannak az évszakok, a szelek irányai, a vizek és a föld hatása. Összehasonlította Európa és Ázsia akkor ismert népeit; a hasonlóságokat és a különbségeket a különböző *környezeti tényezők* hatásainak eredményeképpen mutatta be. Ahol az évszakok nem váltakoznak állandóan, ott sem a test, sem a lélek nem képes tűrésre, viszont tétlenségre, tunyaságra hajlamos. Az erős éghajlati ingadozásokat mutató tájakon az emberek nagysága és testi-lelki alkata is nagyon változatos; az oikumené északi szélein élő emberek és állatok, meg a növények a hideg miatt kisebbek, mint a délen élők, és északon kevesebb állatféleség is található.

Sztrabón görög földrajztudós és történetíró földrajzi leírásai is tartalmazzak *növényföldrajzi* és állattani adatokat, főleg a Római Birodalomból. Megemlékezett a szkíta vidék *kulánjáról*, a Fekete-tenger *halairól*, halászatáról; részletesen beszámolt Egyiptom élővilágáról, Afrika, Arábia és India állatairól. (Forrása Diodóroszéval közösnek tűnik – talán Megaszthenész vagy az asztüpalai Onészikritosz.) A fiatalabb kortárs szicíliai Diodórosz (25 körül) történetíró a „*Bibliothéké hisztoriké*” című nagy művében szintén megemlékezett a leírt terület flórájáról és faunájáról is, talán Sztrabónéval közös forrás alapján. Vizsgálta a *külső környezeti tényezők* (a meleg és a napfény) hatásait a *trópusi területek élővilágára*; rámutatott egyes területek *faunájának* nagy *változatosságára*. Ő is írt Afrika, Arábia és India állatairól.

Pauszaniász (180 körül) földrajzi író „*Periégészisz tész Helladosz*” címmel ismertette a görög földet és élővilágát is. Mondanivalója Poszeidóniosz nézeteit tükrözte. Érdekelték őt az állatvilág megismerésének elméleti kérdései is. Különösen a *fajok elterjedése* izgatta.

E) A görögök fizikai és kémiai ismeretei

Ropolyi László

Az antik görög kultúra fizikai és kémiai ismereteit a korabeli görög tudomány *általános jellegzetességeit* is figyelembe véve mint ezeknek a jellegzetes tulajdonságoknak sajátos, jellemző, ám mégis egyedi változatát szeretnénk bemutatni. Ennek az eljárásnak az a célja, hogy a fizikai (és bizonyos mértékben a kémiai) ismereteket a görög tudomány *tipikus* megnyilvánulási formáinak tekintve, az olvasó lehetőleg egyszerre kapjon képet a görög tudományosság általános vonásairól és a korabeli fizikai és kémiai elgondolások és eredmények konkrét tartalmáról. Ennek az eljárásnak ugyanakkor az is velejárója, hogy általában csak a legjellemzőbbnek tekintett nézeteket, a legnagyobb hatású eredményeket vehetjük számításba, és kénytelenek vagyunk eltekinteni sok érdemdús gondolkodó teljesítményének vizsgálatától.

1. Fizikai és kémiai ismeretek a preszókratikus korszakban

Az i. e. 600–400 közötti időszak preszókratikus filozófusainak gondolatvilágában természetesen semmilyen formában nem szerepelt a fizika és kémia tudománya. Hiszen ebben az időszakban a

tudományos ismeretek filozófiai (főként természetfilozófiai) és esetleg természetrajzi formában jelentek meg. A későbbi korszakok által fizikainak vagy kémiaiainak tekintett ismeretek és problémák tehát ezekben a gondolatrendszerekben találhatóak meg. Jellegzetes változatainknak tekinthetők az ión természetfilozófia Thalész, Anaximenész és Anaximandrosz által képviselt világfelfogása, valamint az eleai Parmenidész és Zénón nézetei és Démokritosz filozófiája.

Könyvünknek az ókori csillagászati, matematikai és biológiai ismeretekről szóló fejezeteiben megtalálható az *ión* gondolkodók legtöbb fontos gondolata, így az alapelvekről szóló tanításuk és a mozgások, változások értelmezései is, ezért ezúttal eltekintünk ismertetésüktől, s csak a korszak többi – fontos következményekkel járó – jellegzetes tudományos teljesítményeinek rövid felidézésével próbálkozunk. Ilyeneknek tekinthetjük Zénón apóriáit és Démokritosz atomista világgképét.

a) Zénón apóriái

Eleai Zénón (kb. i. e. 490–430) apóriákat (nehéz kérdéseket) fogalmazott meg azzal a céllal, hogy tanulmányozásuk mindenki számára nyilvánvalóvá tegye mestere, Parmenidész tanításának helyességét: csakis *az egy, örök, változatlan és határtalan* létezik, a *mozgás* és a *sok* (azaz valami, ami nem „egy”) fogalma ellentmondást tartalmaz, és így akkor járunk el helyesen, ha nemlétezőknek tartjuk őket. Apóriáinak két csoportja e két fontos probléma köré csoportosul, egy részük a „mozgás” lehetetlenségét bizonyítja, míg másik csoportjuk a „sok” létezését cáfolja. A sok apóriái elsősorban a modern matematika megalapozásában játszottak szerepet, a fizikában inkább a mozgás apóriáira reflektáltak, amelyek a 1. dichotómia, 2. Akhilleusz és a teknősbéka, 3. a repülő nyílvesző és 4. a stadion apóriáiként ismertek.⁶⁹

Az apóriáknak hasonló szerkezete van. Mindig egy konkrét helyzet (pl.: A és B két egymástól meghatározott, véges távolságra lévő helyek. Az a kérdés, hogy el lehet-e A-ból B-be jutni?) elemzésével van dolgunk. A helyzet elemzése során feltételezzük, hogy van mozgás (tehát, hogy el lehet A-ból B-be jutni), illetve más apóriák esetében, hogy létezik a „sok”. Ebből a hipotézisből kiindulva Zénón kizárólag logikus gondolati lépésekkel haladva egymásnak ellentmondó következményekre bukkan. Ekkor, mivel az elemzés minden lépése összhangban volt a logika szabályaival, vagyis azokból nem származhat az ellentmondás, arra a végső következtetésre jutunk, hogy kiinduló hipotézisünk (tehát hogy van „mozgás”, illetve „sok”) tartalmazta az ellentmondást, ami az elemzés során egyszerűen világossá vált. Ez a zénóni érvelés gondolatmenete.

Maga Zénón ezután még tovább is lép, és *egyrészt* a fenti feltevésekben kimutatott ellentmondások fellépéséből, *másrészt* Parmenidésznek a létezők szükségszerű ellentmondásmentességét megkövetelő ontológiai elvéből arra a következtetésre jut, hogy *mozgás* és *sok* nem létezhet. Ez a hétköznapi szemlélet számára meglepő állítás, emiatt Zénón apóriáit gyakran Zénón-paradoxonokként emlegetik.

⁶⁹ A további részletekre kíváncsi olvasó pl. a következő művekből tájékozódhat: *Görög gondolkodók 1*; G. S. Kirk, J. E. Raven, M. Schofield: *A preszókratikus filozófusok*; H. D. Lee: *Zeno of Elea* (Hakkert, Amsterdam, 1967); W. S. Salmon (ed.): *Zeno's Paradoxes* (Bobbs-Merril, Indianapolis, 1970); A. Grünbaum: *Modern Science and Zeno's Paradoxes* (Allen and Unwin, London, 1970); Kampis Gy.: *Eleaták egymás ellen, Magyar Filozófiai Szemle*, 34, 473–484. o., 1990; M. Arzenijevic: *Prostor, Vreme, Zenon* (BibliotekaTeka, Beograd–Zagreb, 1986. szerb-horvát nyelven, hosszú angol összefoglalással); Imre Tóth: *„AHILE” Paradoxele eleate in fenomenologia spiritului* (Editura Stiintifica, Bucuresti, 1969. román nyelven).

Itt szeretnénk rámutatni az apóriák értelmezésével kapcsolatos fontosabb problémákra. Mindenekelőtt vegyük észre, hogy Zénónnak a mozgás és a sok létezésével szükségszerűen együttjáró ellentmondásokat kimutató *gondolatmenete* és a mozgás és sok létezését elutasító *álláspontja az érvelés két külön lépése*. Vagyis: pusztán abból, hogy érvényesnek tekintjük az ellentmondásosságot bizonyító gondolatmenetet, még nem következik a mozgás és sok létezésének lehetetlensége. Ha elfogadjuk a gondolatmenet érvényességét, és egyúttal – Zénónhoz hasonlóan – elfogadjuk Parmenidész ontológiai premisszáját is, akkor tagadnunk kell a mozgás és a sok létezését. Azonban ha elfogadjuk a gondolatmenet érvényességét, de – Zénóntól eltérően – elutasítjuk Parmenidész ontológiáját, akkor fenntarthatjuk a mozgás és a sok létezését elismerő véleményünket is. Ám ekkor világosan látnunk kell, hogy a létező „mozgás” és „sok” csakis egymásnak kölcsönösen ellentmondó állítások segítségével értelmezhető. A parmenidészi logika ezt nem teszi lehetővé, de a *dialektika* gondolkodásmódja igen. A parmenidészi ontológia az ellentmondások valóságban való létezését, s így a mozgás és a sok valóságosságát elveti, a dialektika ontológiai felfogását azonban éppen úgy jellemezhetjük, hogy az a létező ellentmondásként, illetve az ellentmondások együttlétezéseként tekint a mozgásra (és a „sok”-ra).

Parmenidész és Zénón számára a *gondolkodás* ellentmondás-mentességének követelménye lényegesebbnek és fontosabbnak tűnt, mint a mozgás és sokféleség *érzéki* tapasztalata, ezért az érzékelhető változásokat és a valóság változatosságát pusztán *látszatként* voltak képesek elfogadni, s az érzékelés számára rejtett, csakis a gondolkodás számára hozzáférhető *lényeg* kizárólagos *valóságossága* mellett döntöttek. Természetes tehát, hogy álláspontjukat nem lehet kétségbevonni a mozgás érzéki tapasztalatára való egyszerű hivatkozással. Cáfolatukat, ha egyáltalán lehetséges, a mozgás és a sok fogalmainak csak másfajta értelmezésétől, másféle fogalmi leírásától várhatjuk. Az antik dialektika éppen ezzel próbálkozott. A dialektikus gondolkodásmód olyan képviselői, mint Hérakleitosz és Arisztotelész a mozgás és sokféleség valóságos létezését alapvető, cáfolhatatlan tapasztalatnak tekintették, és ezt elfogadva próbáltak egy olyan gondolkodásmódot és logikát kidolgozni, amelyben a szükségszerűen együttlétező ellentmondások értelmes módon kezelhetőek, s ezáltal eljuthatunk az *érzéki* világban megfigyelhető mozgás és sokféleség *elméleti* leírásához és újfajta megértéséhez. Ismételten hangsúlyozni szeretnénk azonban, hogy a zénóni apóriák kritikái gyakran elfogadják Zénón gondolatmenetének érvényességét, és csakis a parmenidészi ontológiai princípiumból származtatható végső állásponttal szállnak vitába.

A fentebb mondottakat szeretnénk illusztrálni az egyik mozgásapória, a *dichotómia* rövid összefoglalásával. A dichotómia apóriája azt a problémát vizsgálja, hogy el lehet-e A-ból B-be jutni? Zénón szerint a nehézség itt abban áll, hogy amennyiben feltételezzük, hogy van mozgás, akkor arra mindenképpen igaz, hogy az

„... ami helyváltoztató mozgást végez annak előbb el kell jutnia a feleútig, mielőtt a célhoz ér ...”.⁷⁰

Nyilvánvalónak tűnik, hogy egy ilyen tömör megállapítás megértése komoly erőfeszítést kíván. Éppen ezért az irodalomban számos interpretációval találkozhatunk: negatív és pozitív dialektika, atomizmus, radikális empiricizmus, finitizmus, infinitizmus, indefinitizmus stb. (Ezek között az

⁷⁰ Kirk, Raven és Schofield idézett könyvének 394. oldala.

egyik legérdekesebb a Tóth Imre által kifejlesztett topológiai interpretáció, amelynek az a jellegzetessége, hogy magyarázatában nem vesz igénybe metrikus fogalmat.⁷¹⁾

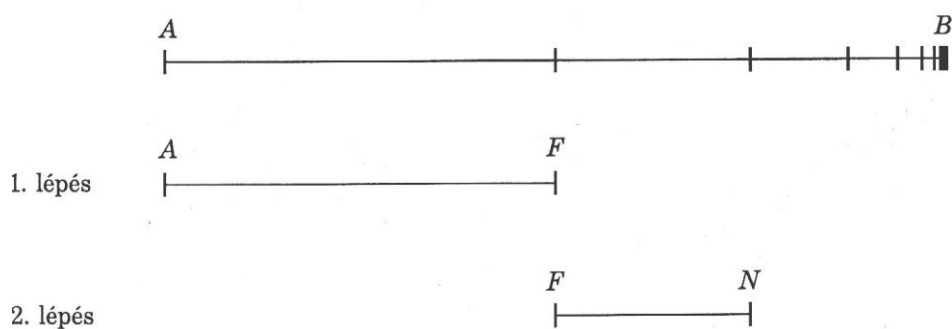
Vegyük figyelembe, hogy már a dichotómia kifejtése (a fentebb idézett gondolat logikai következményeinek leírása) is eltérő a különböző értelmezésekben. A legtöbb értelmezésben persze felhasználják az apória gondolatmenetének *rekurzív* jellegét, vagyis azt a tulajdonságát, hogy egymásra következő, egymásnak teljesen megfeleltethető, végtelen számú lépésben fejthető ki, és, hogy amit első lépésben az *egész* AB útról megállapítunk (nevezetesen, hogy a mozgó mielőtt a végéhez érne előbb el kell jusson a feléig) a következő lépések során is érvényesnek tartjuk, most már értelemszerűen az AB út *felére, negyedére, nyolcadára, s így tovább a végtelenségig*.

A dichotómia *szokásos értelmezései* megmutatják, hogy ezzel a gondolatmenettel egymásnak ellentmondó megállapításokra következtethetünk. Kiinduló feltevésünk szerint ugyanis az AB út véges hosszúságú. Azonban ha létezik mozgás, akkor a rekurzív gondolatmenet az AB út hosszát szükségképpen végtelennek mutatja. Vagyis azt kellene elfogadnunk, hogy az AB út hossza egyszerre véges és végtelen is, ami ellentmondó, következésképpen elfogadhatatlan eredmény. Mivel gondolatmenetünk egyik lépése sem volt hibás, az ellentmondás csakis a mozgás létezésére vonatkozó feltevésünkből eredhet.

De vajon tényleg hibátlan az érvelés gondolatmenete? A mozgás értelmezéséhez végtelen számú egymást követő lépésben kell alkalmaznunk a fenti elvet. Például ilyen formában: helyezkedjen el a mozgó kezdetben A-ban, s legyen az AB út hossza 1 egységnyi. Ekkor első lépésben azt állapíthatjuk meg, hogy a mozgó mielőtt B-be érne, előbb el kell, hogy jusson az AB feléig, mondjuk F-be. Az első lépésben megtett út az AF távolság, tehát $1/2$ egység.

A második lépésben ugyanez ismétlődik: a mozgó F-ben van, és az előtte álló út (az FB távolság) hossza $1/2$ egység. Ismét fennáll, hogy mielőtt az F-ből B-be érne, előbb el kell hogy jusson a még előtte lévő út feléig, mondjuk N-be. A második lépésben megtett út az FN távolság, tehát $1/4$ egység.

A későbbiekben ugyanezek a lépések zajlanak, s mindez a végtelenségig tart, hiszen semmi okunk feltételezni, hogy az eddig alkalmazott elvek érvényessége bármikor megszűnne. Szemléletesen:



Ha most összeadjuk a mozgó által – tényleges mozgása során – megtett utakat, akkor az egyes lépésekben megtett szakaszokból álló $1/2 + 1/4 + 1/8 + \dots$ végtelen sor összege fogja kiadni az AB távolságot, ahogyan az a mozgó számára megmutatkozik. Mekkora lesz ez a távolság? A zénóni gondolatmenet szerint végtelen. Ugyanis Zénón szerint nyilvánvaló, hogy ha (feltevésünk szerint)

⁷¹ Lásd pl. a fentebb említett hivatkozást, valamint a következő interjút is: Tóth I., Staar Gy.: Matematika és szabadság, 81–116, in: Staar Gy. (szerk.): *A megélt matematika* (Gondolat, Budapest, 1990).

az egész AB véges, akkor annak fele, negyede és bármilyen hányada is véges, és amennyiben végtelen sok végest összegzünk, az eredmény csak végtelen lehet. Ilyenformán tehát az AB távolság egyszerre volna véges és végtelen is.

A zénóni gondolatmenettel kapcsolatos kifogások (a paradoxon ún. „megoldásai”)⁷² általában a gondolatmenet utolsó lépését érintik, mondván, hogy Zénón tévedett, amikor azt gondolta volt, hogy végtelen sok véges összege csak végtelen lehet. A matematikai analízis határérték fogalmának igénybevételével bizonyíthatjuk ugyanis, hogy a fenti számsor összege éppen 1, vagyis véges, és pontosan annyi, mint amekkora utat a mozgónak meg kell tennie. E szerint az álláspont szerint tehát a mozgás feltételezése nem vezet a Zénón által megmutatott ellentmondáshoz, a mozgás a differenciálszámítás segítségével ellentmondásmentesen megérthető és leírható. Ebben kétségtelenül van igazság, azonban szeretnénk hozzátenni, hogy a differenciálszámításra való hivatkozás jogos ugyan, ám inkább abban az értelemben, hogy a használatával *kezelni* tudjuk a Zénón által hangsúlyozott problémát. Vegyük észre ugyanis, hogy a határérték fogalma és a differenciálszámítás egész apparátusa megköveteli *infinitezimális mennyiségek* használatát. Az infinitezimális mennyiségek azonban éppen azzal a sajátos tulajdonsággal rendelkeznek, hogy egyszerre végesek is és végtelenek is (végtelenül kicsik). Így tehát azt is mondhatnánk, hogy a modern kor matematikusai nem szüntették meg a Zénón által megtalált ellentmondást, hanem „megszelídítették”, vagyis a klasszikus mennyiségekre vonatkozó számolási szabályok felfüggesztésével és új, sajátos eljárások deklarációjával kezelhetővé tették. A matematikai analízis elmélete ellentmondásmentesen kifejthető ugyan, de ehhez arra van szükség, hogy a bizonyos szakaszok véges és végtelen hosszúságára vonatkozó ellentmondást egy megfelelő fogalomba összefoglalva hasznosítsák. Zénón *gondolatmenetét* tehát ebben a formában befogadta a modern tudomány, annak ellenére is, hogy a mozgások lehetetlenségére vonatkozó parmenidészi ihletésű *következtetését* a modern tudomány képviselői is rendszerint visszautasítják.

Tóth Imre már említett munkáiban azt hangsúlyozza, hogy a zénóni gondolatmenetekben nem található se a mozgás létezése mellett, se ellene szóló logikai kényszerűség. A mozgás létezésének elfogadása vagy elutasítása a zénóni gondolatmenettől független döntésen alapul. Nézete szerint azon a döntésen, amellyel elfogadjuk vagy elutasítjuk az *aktuális végtelen* létezését. Lehetséges úgy is döntenünk, hogy az egymást követő rekurziós lépések során eljutunk a végig (B-ig), vagyis ezzel elfogadjuk az aktuális végtelen létezését, ekkor van mozgás, s el lehet A-ból B-be jutni, de dönthetünk úgy is, hogy a rekurziós lépések csak tetszőlegesen megközelítik a véget (B-t), de el soha nem érik, vagyis nincs aktuális végtelen (csak potenciális van), a mozgás így lehetetlen, nem juthatunk el A-ból B-be. Zénón a második megoldást választotta, de nem jutunk logikai ellentmondáshoz az elsőt választva sem. Az aktuális és potenciális végtelen fogalmainak elemzése, a különféle végtelenfogalmak következetes használata a halmazelmélet alapjainak Cantor, Russell és mások által kezdeményezett kutatását serkentette.

Az antik gondolatmenet és a mai tudomány lehetséges kapcsolódási pontjainak megmutatása szempontjából tanulságos lehet, ha röviden áttekintjük a dichotómia másfajta – a Tóth Imre által javasolt – *topológiai interpretációját* is. Figyeljük meg: Zénón nem állította, hogy az, ami mozgásban van, minden A és B közötti helyen előfordul. Azért se állíthatta ezt, mert ha ezt

⁷² Jelentős részüket megtalálhatjuk J. L. Borges argentin író két tanulmányában is, amelyek az „Akhilleusz és a teknősbéka örökös versenyfutása” és „A teknősbéka átváltozásai” címmel jelentek meg többek között *Az idő újabb cáfolata* című kötetében (Gondolat, Budapest, 1987).

mondaná, akkor már eleve feltenné a mozgás létezését, holott éppen ezt akarja megvizsgálni. De ha nem minden helyen, akkor vajon mely helyeken kell lennie a mozgásban levőnek? Mindenekelőtt az AB szakasz felénél (F-ben). Világos, hogy csak az a lényeges, hogy F „A és B között” van, az, hogy éppen a szakasz felezőpontja-e, a gondolatmenetben nem játszik lényeges szerepet, és minden lépés érvényes marad akkor is, ha F nem felezőpont. (Éppen ezért, ha az érvelés lényegére koncentrálnunk, talán valóban érdemes lemondanunk a metrikus relációk figyelembevételéről.) De az apória tartalmaz még egy fontos fogalmat, a célt, a teloszt, ami felé a mozgásban lévő irányul. Ez az irányultság különbözővé teszi az AB szakasz AF és FB tartományait. Ugyanis a lépések ismétlései során kitűnik, hogy az egyik tartományban, mondjuk az AF-ben a rekurzió továbbhaladása során, már nem fog előfordulni a mozgó, a másikban viszont igen.

A rekurziós folyamatot ezúttal a következőképpen képzelhetjük el: az AB szakasz ama AF tartományát, amelybe a mozgó a rekurzió előző lépése során esett, hagyjuk el, s a következő lépésben a maradékra alkalmazzuk ismét a gondolatmenetet. Vegyük észre, hogy egyik lépésben sincsen kitüntetve sem az A, sem a B felé mutató irány, hanem csak az irányultság ténye fontos. Bármelyik lépésben bármelyik irányt választhatjuk. Ez a szabadság lehetővé teszi a dichotómia előre- és visszafelé haladó kifejtését ugyanúgy, mint bármilyen kombinációjukat. A rekurziós lépések ezúttal is vég nélkül folytatandók. Ezzel a rekurziós technikával az AB szakasznak végtelen sok tartományát fogjuk elhagyni, s ami végül marad, az egy mindenütt hézagossá halmaz, ami ilyen formán megjeleníti a mozgó által Zénón szerint szükségképpen elfoglalt helyeket. Különösen érdekes eredményre vezet, ha egy AB szakasz esetén az összes lehetséges dichotómiát figyelembe véve keressük meg a mozgó összes lehetséges helyeit. Belátható, hogy a fenti konstrukció AB-t éppen egy Cantor-halmazra teszi. (Ilyen halmazokat Cantor vizsgált a XIX. században.) A Cantor-halmazok mint a *fraktálok* fontos változatai szerepet játszanak napjaink tudományában is, pl. a kaotikus mozgások leírása során. Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy a „dichotómia” apória topológiai interpretációja révén zénóni gondolatmenetekre bukkanhatunk sok mai fizikai problémában is. Persze ezúttal is különbséget kell tennünk a zénóni gondolatmenet és Zénónnak a mozgás valóságosságát elutasító következtetése között.

A többi mozgás-apóriát itt nem tudjuk tárgyalni. Azt mindenesetre megjegyeznénk, hogy az „Akhilleusz és a teknősbéka” apóriája a „dichotómiával” nyilvánvalóan közeli rokonságban van, de ezektől némileg eltérő szerkezete és problémavilága van a „repülő nyílvesző” és a „stadion” apóriáknak. Az utóbbiak tanulmányozására hajló olvasók figyelmébe ajánljuk a korábban említett hivatkozások mellett Hegel filozófiatörténetének rendkívül érdekes elemzéseit is.⁷³

b) Démokritosz atomizmusa

A démokritoszi filozófiát a korai görög filozófiai problémák egyik sajátos összefoglalásának is tekinthetjük. Démokritosz (i. e. 460–371) gondolatvilágában megtalálhatjuk az ión filozófusok, Hérakleitosz, az eleai gondolkodók, Anaxagorasz és Empedoklész számos gondolatát. Ezúttal nem célunk az egész démokritoszi filozófia bemutatása, kizárólag atomizmusának vázlatos összefoglalásával próbálkozunk, de ebben a dimenzióban is kitűnik a „nevető bölcs” szintetizáló hajlama és képessége.

Az eleai Parmenidészhez hasonlóan Démokritosz gondolkodásában is központi helyet foglal el a *nemlétező* természetének megértése. Parmenidész határozottan kijelenti, hogy csak a nemlétező nemlétezését állíthatjuk, ugyanis csak ekkor nem jutunk logikai ellentmondáshoz. (A nemlétező

⁷³ G. W. F. Hegel: *Előadások a filozófia történetéről*. I. kötet (Akadémiai, Budapest, 1977), 221–239. o.

létezését kijelentve éppen egy ellentmondást állítanánk.) A parmenidészi ellentmondástalanságra való törekvés néhány következményét korábban, Zénón apóriáinak tárgyalásánál már bemutattuk. Parmenidész nézeteivel szögesen ellentétes álláspontot képviselt Hérakleitosz, aki tapasztalva a lét ellentmondásosságát, határozottan kijelenti, hogy „vagyunk is, meg nem is vagyunk”, s hogy minden lét és létező ellentéteket foglal magába, hiszen

„az ellentétesre csiszolt illik össze, és az ellenkezőkből a legszebb illeszkedés”.⁷⁴

Démokritosz álláspontja Hérakleitoszéhoz van közelebb, de a probléma általa választott megoldása mégis inkább Parmenidész örök és változatlan létezőjének adottságait hordozza. Démokritosz álláspontja szerint ugyanis a létezők és a nemlétező egyaránt léteznek, sőt lényegüket, alapelvüket (*arkhéjukat*) is azonosíthatjuk. A létezők lényegüket tekintve *atomok*, a nemlétező lényege pedig az *úr*. Egyik ókori forrásmunkában azt olvashatjuk, hogy Démokritosz szerint:

„a valami sem létezik inkább, mint a semmi – valaminek a testet, semminek pedig az úrt nevezi, mintha ennek is volna bizonyos természetes lényege és sajátos realitása.”⁷⁵

Vagy ahogyan egy másik helyen idézik:

„... mindaz ... ami érzékeink előtt feltűnik ... semmi sem mutatkozik a valóságnak megfelelően, hanem csak látszat szerint, a valóságban pedig a létezőkben alapul, az atomok és az úr vannak meg ... csak emberi megállapodás szerint van édes és keserű, meleg és hideg, és szín, a valóságban azonban csak atomok és úr van ... valójában semmi szilárdat és határozottat nem veszünk észre, hanem olyasmit, ami változik testünk és a hozzáérkező és ráható atomok állapota szerint”.⁷⁶

A tapasztalati világban közvetlenül megfigyelhető testek, illetve észlelhető tulajdonságaik nem a világ lényegi létezői, hanem pusztán a dolgokat valójában alkotó atomok és üresség megnyilvánulásai. A testek és tulajdonságaik nem örökök és változatlanok, keletkezésüket és pusztulásukat, változásukat az atomok és az úr sajátos együttlétezése, az atomok úrben való ún. zuhanása idézi elő. Az úrben zuhanó atomok összekapcsolódása és szétválása, illetve rendjükben és egymáshoz viszonyított helyzetükben a zuhanás közben bekövetkező változások vezetnek a testek és tulajdonságaik érzékelhető változásaihoz.

De mit mondhatunk az atomok és az úr saját természetéről? Azt láttuk, hogy a világ ellentétes lényegi létezői. Ellentétességük néhány további tulajdonságukban is megnyilvánul: az atomok a létezők olyan legegységesebb egységei, amelyek tovább már *oszthatatlan* egységet alkotnak, az úr ellenben tetszés szerinti mértékben, végtelenül *osztható*. Atomból végtelenül sok van, az úr egyetlen. Az atomok és az úr hasonlóak azonban a következő tulajdonságaikban: közvetlenül az ember számára mindkettő érzékelhetetlen. (Amit érzékelünk az az atomoknak, illetve az ürességnek testünkkel való „kölcsonhatásai”, az ízek, a színek, a szagok, effélék.) Az atomok is és

⁷⁴ Görög gondolkodók 1, 32. o.

⁷⁵ Görög gondolkodók 2, 62. o.

⁷⁶ Görög gondolkodók 2, 60. o.

az űr is – bár ellentétes, de – homogén minőségek. Vagyis minden atom egyfajta „közegből” áll, nincs pl. külön hús- és csontatom (Démokritosz álláspontja ebben a vonatkozásban ellentétes Anaxagorasznak a különböző minőségű „magokról” (*szpermákról*) kialakított elképzelésével). Az atomok „homogén közegeként” való felfogása következtében a testek megfigyelhető különbségeinek, pl. az eltérő ízeknek, színeknek, alakoknak, méreteknek a magyarázatához azonban mégiscsak az atomok közötti különbségeket kellett feltételeznie Démokritosznak. Így aztán Démokritosz atomjai a következő tulajdonságaikban különböznek egymástól: alakjukat tekintve külső megjelenésükben (gömbölyű, szögletes, érdes, sima stb.) és nagyságukban (valamennyi érzékelhetetlenül kicsi, de mégis különbözően nagyok), egymáshoz viszonyított helyzetükben (pl. zuhanás közben melyik van alul, illetve felül) és kölcsönös érintkezésük rendjében (pl. a nagyobbak és ezért nehezebbek utolérhetik a kisebb és könnyebb atomokat, s ekkor létrejöhet érintkezésük, de a fordított helyzetben persze nem). Figyelemreméltó, hogy az atomok eme különbségei alapvető jelentőségűek ugyan, de nem a közvetlen érzéki bizonyosság szól mellettük, hanem a világ megfigyelhető változásai és változékonysága magyarázatának elvi igénye. Démokritosz determinista világfelfogása szerint ugyanis

„semmi sem történik véletlenül, hanem minden ok szerint, szükségszerűleg történik”.⁷⁷

Éppen ezért, ha racionális magyarázatot keresünk a testek konkrét természetére vagy tulajdonságaira, akkor az atomok fent említett különféle elengedhetetlen tulajdonságait mindenképpen feltételeznünk kell. Démokritosz atomista elképzelését így tulajdonképpen atom*elmélet*nek is nevezhetjük (gyakran így is írják róla), hiszen a későbbi korok tudományos elméletei teljesen hasonló metodológiát követnek.

Démokritosz nézetei stabilan jelen voltak a görögök gondolatvilágában, de szinte sohasem jutottak meghatározó szerephez. Arisztotelész és tanítványai például komolyan mérlegelték tanításait, de követőjének inkább csak Epikurosz (i. e. 341–270) és jóval később Lucretiust (i. e. 96–55) tekinthetjük. Epikurosz némileg módosította Démokritosznak az atomok mozgására („zuhanására”) vonatkozó felfogását, és változatosabb relációkat is megengedhetőnek, reálisan megvalósulónak tartott. Démokritosz csak egyenes, egyenes vonalú függőleges zuhanást tételezett fel, Epikurosz megengedett véletlentől függő oldalirányú mozgásokat is, miáltal némileg változatosabb szerveződési folyamatok értelmezésére nyílt lehetősége. Lucretius jelentős teljesítményének inkább az epikureus tanításokat népszerűsítő nagyszabású költeményének létrehozását tekinthetjük.⁷⁸

Az atomista felfogás a későbbi tudományos gondolkodásban a XVII. századtól játszik ismét fontosabb szerepet, majd a kémiai folyamatok modern értelmezését lehetővé tevő XIX. századi Dalton-elméletben bukkanak fel egyes elemei. Figyelemreméltó azonban, hogy az atomizmus mindkét centrális problémája, nevezetesen, hogy az anyag szerkezete *diszkrét vagy folytonos* jellegű, tehát, hogy az anyagi világ atomokból és ürességből (ma inkább vákuumnak mondjuk) áll-e, vagy valamiféle folytonos (pl. a szubsztancia, éter, vákuum nevekkkel jelölt) közeg-e, illetve, hogy mi tekinthető tovább már nem osztható *elem*nek, nos, ezek ma is nyitott kérdések. A fizika korpuszkuláris (részecske), illetve mezőelméletei írják le a különféle természetűnek elgondolt

⁷⁷ Görög gondolkodók 2, 74. o.

⁷⁸ Titus Lucretius Carus: *A természetéről (De rerum natura*, Kossuth Kiadó, Budapest, 1997).

anyagi világokat, de érdekes észrevenni, hogy az összes fizikai diszciplínának előállíthatók lényegében egyenértékű korpuszkuális és mezőelméleti változatai, sőt a korpuszkuákat és mezőket egyaránt létezőnek tekintő „keverék” elméletek is.⁷⁹ Vagyis a fizika lényegében nem döntött ebben a kérdésben, hanem inkább kidolgozott minden lehetséges verziót. A modern fizika olyan nevezetes dilemmái is e kérdéskörrel kapcsolatosak, mint a *hullám-részecske dualizmus*, illetve a fizikai kölcsönhatások természetét jellemző *távolhatással*, illetve *közelhatással* dolgozó elméletek közötti választás problémája. Manapság éppen mintha a mezőelméletek (és közelhatások) nagyobb ázsióját figyelhetnénk meg, de valójában hasonló mértékű nehézségekkel találkozunk, akár a mezők tulajdonságaiból szeretnénk a részecskék tulajdonságait megérteni, akár ha fordítva járunk el. Démokritosz atomista világképe tehát egy ma is aktuális tudományos problémakör antik változatának is tekinthető.

Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy az elemiség fogalmának megértése, és a mindenkori tudományos eszközökkel való kimutatása, illetve mindezek elméleti és gyakorlati következményei részben a fizika, részben a kémia fejlődését serkentő, folyamatosan aktuális problémakörök maradtak a mai napig.

2. Az antik természetfilozófia hozzájárulása a fizikához

Az i. e. IV. század a görög filozófia virágkora, olyan gondolkodók tevékenysége esik erre az időszakra, mint pl. Platón, Arisztotelész, Epikurosz és a sztoikus filozófia jeles képviselői. A kialakuló nagyszabású filozófiai rendszerek részeként, azokon belül elhelyezkedve, de bizonyos mértékig már elkülönülten különféle természetfilozófiai gondolatmenetek, egyes esetekben pedig komplett világképek megjelenését regisztrálhatjuk. Ebben a korszakban a természet tudományos leírása tehát főként *természetfilozófiai formát* öltött. A legfejlettebb változatok azonban hamarosan túllépnek ezeken a kereteken is, és ezzel megindul a tudás diszciplinárizálódása, egyes tudományoknak a filozófiáról való leválási folyamata, az ún. szaktudományok kibontakozása. A korszak legjobb reprezentánsa kétségtelenül az arisztotelészi (alkalmanként peripatetikusnak is nevezett) fizika. A továbbiakban tehát elsősorban ennek ismertetésével foglalkozunk majd, és csak egészen röviden érintjük a többi természetfilozófia tudományokhoz való hozzájárulását.

a) Platón természetfilozófiájának adalékai

Az arisztotelészi fizika ismertetése előtt meg kell említenünk Platón természetfilozófiájának tudományos aspektusait. A platóni természetfilozófia legfontosabb elemei „Timaios” című dialógusában található meg.⁸⁰ Ezek kozmológiai és matematikai vonatkozásairól könyvünk más fejezeteiben szó esik, így itt csak nézeteinek fizikai és kémiai elemeivel foglalkozunk.

A platóni természetfilozófiában is alapvető szerepet játszik a filozófus radikálisan érvényre juttatott értékrendje: az érzéki világ objektumainak esetlegessége, állhatatlansága, tökéletlensége és saját örök, változatlan, romlatlan ideáikhoz való hasonlatosságuk. Platón is elfogadja a korában elterjedt nézetet, mely szerint a fizikai testek négy elem (tűz, víz, föld, levegő) meghatározott arányok szerinti keverékéből állnak. A sajátos platóni felfogás szerint azonban az elemeknek is (mivel azok is az érzéki-anyagi világ részei) felismerhetjük az ideáit, amelyek szerinte a sík lapokkal határolt *szabályos testek*, a tűz, a föld, a levegő és a víz ideája rendre a tetraéder, a kocka, az oktaéder és az ikozaéder. A tájékozott olvasónak feltűnhet, hogy csak négy elemünk van,

⁷⁹ Lásd pl. D. K. Sen: *Fields and/or Particles* (Ryerson Press, Toronto and Academic Press, London, 1968).

⁸⁰ *Platón Összes Művei*. III. kötet (Európa Kiadó, Budapest, 1984), 307–409. o.

viszont a szabályos testek száma öt, s így kérdéses, hogy milyen szerepe lehet az ötödik szabályos testnek, a dodekaédernek? Platón válasza az, hogy ez a legtitokzatosabb (12 szabályos ötszöggel határolt) test magának a káoszól kiemelkedő kozmosznak, a világrendnek az ideája. Ámbár Platón elemzésében még tovább halad, és felveti, hogy valójában a szabályos testeket határoló oldallapokat lefedő háromszögeket érdemes elemi ideáknak tekinteni. Ehhez kétféle derékszögű háromszögre van szüksége (az egyiknek „30 fokos”, a másiknak „45 fokos” az egyik szöge), tehát elemi ideákként végső soron ezek a tovább már nem osztható háromszögek jelenítik meg a fizikai objektumok végső alapelveit és meghatározottságait.

Ha végül megszámoljuk, hogy az egyes szabályos testek lefedéséhez hány és miféle háromszögre van szükségünk, akkor rendelkezésünkre áll minden fontos összefüggés a természeti folyamatok megértéséhez is. Az elemi ideák szétválva és újból összekapcsolódva az elemek közötti átalakulásokat is lehetővé és kiszámíthatóvá teszik. Sőt még mennyiségi törvényszerűségeket is felállíthatunk! Így pl. mivel a levegő ideájaként azonosított oktaéder 48 darab „30 fokos” háromszöggel fedhető le, továbbá mivel a tűz ideája, a tetraéder 24 darabbal, az ezek kölcsönös átalakulásaira vonatkozó törvényt egyszerűen felírhatjuk: 1 levegő = 2 tűz. Talán nem tévedünk, ha Platón eme gondolatainak hasznosítását véljük felfedezni a kémiai változások különféle leírásaiban az ókori alkimista szerzők próbálkozásaitól kezdődően egészen napjaink sztöchiometriai egyenleteiig.

Észrevehetjük azt is, hogy ha idővel a platóni természetfilozófia konkrét elgondolásainak tudományos mondanivalója el is jelentéktelenedik, továbbra is fontosak maradnak szemléletmódjának általános vonásai, így például a szabályos testekben is megjelenő *szimmetriák* alkalmazhatósága a természet objektumainak és folyamatainak leírásában. Közismert a kvantumelmélet alapproblémáin rágódó Werner Heisenbergnek Platón természetfilozófiai eszméi iránti lelkesedése, de valójában ennél is többről van szó, hiszen szimmetriaelvek alkalmazása nélkül manapság nehéz volna elképzelni bármilyen haladottabb tudományos elméletet.

b) Az arisztotelészi fizika fontosabb problémái

Hegel szellemes megállapítása szerint: „... Arisztotelész fizikája az, ami a mostani fizikusok számára tulajdonképp a természet metafizikája volna; mert a mi fizikusaink csak azt mondják meg, mit láttak, milyen finom és jeles műszereket készítettek – nem pedig azt, hogy *gondoltak* valamit”.⁸¹ Az arisztotelészi gondolatok rendszere persze nagyon is sajátos módszer szerint épül: hétköznapi és tudományos megfigyelések, tények, vélemények és szemléletmódok sokaságát dolgozza fel. De olyan körültekintően vizsgálódva, és olyan módon haladva tovább, hogy minden új elem, miközben hozzáadja a maga részét a korábbiakhoz, s ezzel világosabbá teszi a világ egészének rendjét, egyúttal megtalálja a maga helyét is a világrendben, s így természetesen érthetőbbé válik a hozzáadott részlet is. Ez a módszer akkor hatékony, ha a tapasztalatok, ismeretek és vélemények esetében is mindig mindezek hiánytalan összességére figyel a filozófus. A *teljességhez* vezető utat lépésről lépésre bejárni – a filozofálásnak egy lehetséges, hatásos, de igényes és így ritkán alkalmazott módja.

Az arisztotelészi filozófia tartalmát tekintve a *szemlélődő ember világgépének* összefoglalása. Talán ezen a ponton is érdemes emlékeztetni rá, hogy az antik görög világban a tapasztalatszerzés *szemlélődő* változatát alkalmazták tudományos igényű vizsgálódásokban is, mivel nézeteik szerint a puszta megfigyelés nem avatkozik bele a folyamatok természetes menetébe, s így helyes

⁸¹ G. W. F. Hegel: *Előadások a filozófia történetéről. Második kötet* (Akadémiai, Budapest, 1977), 218. o.

eredményeket szolgáltathat a tulajdonképpeni háborítatlan természet értelmezéséhez. Arisztotelész emellett még tudatosan arra is törekedett, hogy az összes megfigyelés révén szereshető tapasztalat figyelembevételével dolgozza ki filozófiai rendszerét.

A modern tudomány nyelvén szólva azt mondhatnánk, hogy Arisztotelész a *világot* egy nyílt dinamikai rendszerként írja le. Ez konkrétan azt jelenti, hogy a megfigyelhető világrend nem egyszer s mindenkorra adott, örök és változatlan formában létezik, hanem e lehetőség folytonos megvalósulásaként állandóan létesül. Az arisztotelészi szemléletmód egy stacionárius világfelfogás, a világrend viszonylagos stabilitása csak az együttlétezők állandó mozgása eredményeként jön létre és marad fenn. Ennek a működésnek a rendje az egészen belül saját helyüket betöltő elemekből épülő hierarchikus rendszert eredményez. A hierarchia minden szintjén zajló, a rendszer elemeinek együttműködéseként megvalósuló folyamatokat tanulmányozva feltáruznak a működést érthetővé tevő okok, melyek között mindig vannak célok is.

Hasonló szerkezetet mutat a *konkrét létezőket* értelmező arisztotelészi felfogás is. A világ végső alapelvei a *konkrét létezők*: ez és ez az ember, tárgy, kő, színdarab, köpeny, felhő, s más efféle dolgok. Ezek az *anyagi hordozón* (szubsztrátumon) működő *formának* és e forma hiányának (vagy a forma ellentétes oldalainak) a küzdelme során jönnek létre és ekként léteznek. Az anyagi szubsztancia csak a létezők *lehetőségét* hordozza, míg az ellentétes oldalainak küzdelmével jellemezhető forma szervezőerőként működik, s szervező hatása révén folytonosan *megvalósul* a konkrét létező, mint cél.

Arisztotelész filozófiai rendszerét alaposabban a „Metafizika” című művéből ismerhetjük meg. Ez a munkája tartalmaz sok olyan részletet is, amelyből kitűnik, hogy természetfilozófiája is a fentiekben vázolt szemléletmódot tükrözi.⁸² Az arisztotelészi természetfilozófia legfontosabb forrásai azonban Arisztotelész fizikai munkái.⁸³ Ennek az a magyarázata, hogy Arisztotelész szerint a tudományoknak három csoportja van: elméleti, gyakorlati és produktív. Az elméletek tovább oszthatók teológiára (metafizikára), fizikára és matematikára. *A fizika az önállóan létező, de nem változatlan dolgokkal foglalkozik.* Más szóval úgy mondhatnánk, hogy az arisztotelészi fizika tárgya a folytonos változásban, mozgásban lévő természet. Ez a tárgy olyan, hogy ma inkább a természetfilozófiához tartozónak mondanánk, s csak bizonyos aspektusait tekintjük a mai fizika számára is érdekesnek. Arisztotelész számára azonban a fizika az egész természeti szférára

⁸² Aristoteles: *Metafizika*, Fordította: Halasy-Nagy J., Hatágú síp alapítvány, Budapest, 1992. (Ez a könyv az 1936-os kiadás újranyomása, de ugyanez a fordítás egyetemi jegyzetként is megjelent: Arisztotelész: *Metafizika*, Jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1957). Természetfilozófiai szempontból különösen az V., VII., VIII., IX. és XII. könyvek érdekesek.

⁸³ Arisztotelész nézeteit főként a *Fizika* (ezt néha „Természeti vizsgálódások” címen is említik), *Az égről* (máshol „Az égboltról” címen is szerepel), *A keletkezésről és a pusztulásról*, és a *Meteorológia* (néha „A légköri jelenségekről” címen fut) című műveiben találhatjuk meg. Magyar nyelven csak a *Keletkezésről ...* olvasható, Bognár László fordításában: *Magyar Filozófiai Szemle*, 32(3-4) [1988], 291–367. o. Hazai könyvtárakban fellelhetők e művek jó angol, német, orosz, francia, latin fordításai és kétnyelvű kiadások is. Valamennyi idézett mű megtalálható a következő kiadványokban:

Arisztotel: *Szocsinyenyija v csetüreh tomah*, tom 3 (Miszl, Moszkva, 1981);

The Works of Aristotle, transl. edit. W. D. Ross, II–III. vols. (Clarendon, Oxford, 1953).

vonatkozó tudást hordozta, egyébként nevének megfelelően, hiszen a „füzisz” görög szó egyik jelentése: természet.⁸⁴

Hegelnek igaza van abban, hogy az arisztotelészi értelemben vett fizika legnagyobb részét ma természetfilozófiának tekintjük, de Arisztotelész számára, valamint számtalan tudós kommentátora és követője számára – egészen a XVII. századig – kétségtelenül ezek a nézetek jelentették a *fizika tudományát*. Az arisztotelészi szövegeket különféle értelmezésekkel, megjegyzésekkel, kiegészítésekkel látták el, de mindvégig megőrizte sajátos arisztotelianus jellegét.

A fizika témájához szorosabban tartozó Arisztotelész művek (a „Meteorológia” bevezetője szerint ezek sorozatot alkotnak; s a tárgyalásmód az általánostól halad az egyes felé) fontosabb témái a következők:

1. a természet első (vagy végső) alapelveivel a „Fizika” című mű I–II. könyve, a természetes mozgásokkal általában a „Fizika” III–VIII. könyve foglalkozik;
2. a csillagok rendjével, illetve mozgásával „Az égről” című mű I–II. könyve, a földi testek elemeinek természetével és egymásba alakulásaikkal „Az égről” III–IV. könyve ír;
3. de a keletkezés és pusztulás általános kérdéseivel „A keletkezésről és pusztulásról” című önálló műve foglalkozik;
4. olyan dolgokkal, amelyek a természettel összhangban történnek, de természetük kevésbé rendezett, mint az égi elemeké, s amelyek a csillagok mozgásához legközelebbi tartomány határán mozognak, pedig a „Meteorológia” könyvei foglalkoznak.

Ezúttal nem lehet célunk az egyes művek részleteiben elmélyedni, ehelyett inkább csak az arisztotelészi fizika lényegesebb általános vonásait szeretnénk bemutatni.

A természet és mozgás elválaszthatatlanságának elvét felismerve és követve Arisztotelész fizikája elsődleges feladatának tekinti a természet jellemzését, majd ezzel összefüggésben a továbbiakban rátér a mozgások értelmezésére és leírására. Kövessük ezen az úton.

(1) A természet fogalma és jellegzetességei Arisztotelész fizikájában

Arisztotelész a „Fiziká”-ban kezdetben ismertnek veszi a természet fogalmát, több a természetről szóló preszókratikus mű alapján. Majd kimutatja, hogy egyes elődei szerint a valóság egy, oszthatatlan és változatlan, ám Arisztotelész alapvető fontosságú tapasztalatnak tartja, hogy minden mozog. A „Fizika” egésze e kérdésekre irányul, s amikor a természetes létezők általános természetéről szól, alapvetőnek mondja, hogy azok lényegükig hatolóan változékonyak. Így a természetnek egy új fogalmát kell létrehoznia. A „Fizika” II. könyvében neki is lát a munkának: a „természet” szó használatának szokásos változatait felsorolva és elemezve jut el a számára elfogadható fogalomig. (Ugyanezt az utat járja a „Metafizika” IV. könyvében is.) Gondolatmenetének részleteit másutt már megpróbáltuk reprodukálni,⁸⁵ így most csak a végeredményre koncentrálnunk.

⁸⁴ A „füzisz” fogalmának részletesebb értelmezését megtaláljuk M. Heidegger: *Bevezetés a metafizikába* (Ikon, Budapest, 1995) című művében. Heidegger elemzése megmutatja a fogalom történeti jelentésváltozásait is, így megismerhetjük az arisztotelészi felfogás előzményeit és a kialakulását befolyásoló tényezőket is.

⁸⁵ Lásd az *Előadások a természetfilozófia történetéből* című egyetemi jegyzet (ELTE TTK; Budapest, 1997) II/3. fejezetét.

A természet először is természetes, a természet által létrehozott *dolgokat* tartalmaz. Természetes dolog az, ami tartalmazza magában a mozgás és a nyugalom elvét. A kibontakozó, kifejlődő, a termő *dolgok* természetesek, de természetesnek mondjuk még természetes dolgok olyan *tulajdonságait* is, melyekben benső karakterisztikumaiuk nyilvánulnak meg. Így például a tűz felfelé törekvő mozgása természetes. Továbbá a természethez tartozik a *dolgok természete* is, kibontakozó, kifejlődő és nem statikus meghatározottságként. Más szóval ez azt jelenti, hogy Arisztotelész számára nyilvánvaló a dolgok, tulajdonságok és viszonyaik önszerveződő folyamatban való kialakulása.

Másrészt beszélhetünk az összes természeti létezők hordozójaként értelmezett *Természetről* is, mint „a mozgás és változás elvét magában tartalmazó összes dolog végső *anyagi* hordozójáról”,⁸⁶ illetve „*Természet* az olyan dolgok megkülönböztető *formája*, vagy minősége, amelyek tartalmazzák a mozgás elvét; de ezek a formák vagy jellemző tulajdonságok nem léteznek maguktól a dolgoktól elválasztva”.⁸⁷

A természet tehát egy állandó (ön)működésben lévő rendszer, s rendjének alapja az oksági összefüggések érvényesülése. Jól ismert, hogy Arisztotelész szerint minden létező *négyféle ok* által meghatározott. Mindennek megtalálhatók anyagi, formai, ható és célokai. Az anyagi, formai és ható okok mellett nagy jelentősége van a célokok szükségszerű megjelenésének – az arisztotelészi természetfelfogást emiatt *teleologikusnak* mondjuk. A teleologikus világszemléletben időnként szokás a célokok érvényesülését a természetben eleve megtalálható vagy a természetbe belevetített értelem működéséhez kapcsolni. Az arisztotelészi rendszerben kevesebbről, illetve másról van szó, itt a célokok egyszerűen a világrend érvényesülését hivatottak kifejezni. De ez a világrend nem holmi emberi vagy isteni értelem által adott, hanem a konkrét objektum, folyamat világban-való-létének szükségszerű következménye. Más szóval azt is mondhatnánk, hogy Arisztotelész a dolgokat környezetükkel együttlétezőkként, nyílt rendszerként fogja fel. Ez igen nagy jelentőségű gondolat, hiszen csak így válik lehetővé a rend, illetve az egyre bonyolultabb struktúrák keletkezésének értelmezése önszerveződő folyamatok révén.

Sok ilyen értelmű leírást találunk az arisztotelészi szövegekben. Így például a meteorológiai jelenségek magyarázataiban, sőt a sütés-főzés különféle változatainak összetetésében is felbukkannak efféle elemek. Igazán szép példát Istennek a természeti rendben betöltött szerepe nyújt.

Arisztotelész világképében különálló szférát jelent a földi (Hold alatti) és égi (Hold feletti) világrész. A földi és égi szféra a tökéletlenség-tökéletesség viszonyában van. A földi világban a testek a négy elemből (tűz, víz, föld, levegő) állnak, állhatatlanok, hiszen át-át alakulnak egymásba, a mozgások itt egyenesek és végesek. A földi világrend olyan, hogy a Földhöz közel van a földből való dolgok természetes helye, felette a vízből valóké, afelett a levegőből állók természetes helye következik, s végül legfelül a tűzből álló dolgok természetes helye található. Az égi világ objektumainak anyaga a tökéletes éter, az égi objektumok örök és tökéletes (értsd: körpályájú) mozgásban vannak, sőt nem is maguk mozognak, hanem az egymáson (súrlódásmentesen) elcsúszó égi szférákhoz rögzítetten. Ámde e két világ egymás környezetét jelenti, s ezáltal meghatározza a másikban érvényesülő rendet.

⁸⁶ Aristotle: *The Physics* with an English Translation by P. H. Wicksteed and F. M. Cornford, I–II. vols (Harvard University Press, Cambridge, és Heinemann, London, 1957). A fenti idézet helye: *Fizika* 193a, e könyv 113. oldalán.

⁸⁷ *Fizika* 193b, a fenti könyv 115. oldalán.

Arisztotelész leírja, ahogy a víz a természetben körforgást végez: a felhőkben összegyűlő víz természetes helyére törekedve esőként leesik, de ezzel nem ér véget a folyamat, hiszen a tengerek vizét a Nap melege elpárologtatja, s a könnyű pára ismét felszáll, majd a felhőkben lecsapódva, ismét esőt ad. Ez egy energetikailag nyílt rendszer, a folyamatot a Nap melege hajtja. De mitől melegít a Nap? A Nap melege a legfelső földi és a legalsó égi szféra sűrűlódása által termelt hóból ered. De mitől mozog a legalsó égi szféra? Azt bizony a fölötte lévő égi szféra mozgatja, s azt az afölött lévő, és így tovább. Ámbár ezzel a gondolatmenettel nem kell elmennünk a végtelenségig, hanem csak a legkülső égi szféráig: azt ugyanis a mozdulatlan mozgató, vagyis Isten mozgatja. Ezzel a feltevéssel Arisztotelész lezárja a mozgatók hosszú sorát, de ez csak logikailag teszi zárttá a világot, energetikailag nyílt marad: Isten *állandó munkája* révén szerveződik a földi világ rendje. Arisztotelész Istene nem órás-mester, nem az általa eleve elgondolt rend szigorú konstruktőre, hanem azáltal teremt egyfajta rendet, hogy állandóan felborítja a földi folyamatok során beállni kész egyensúlyt. Ezzel kiérdemli a rend nagy összezavarója elnevezést is, így Arisztotelész Istene egy entrópikus Isten.

(2) Dinamikai fogalmak az arisztotelészi fizikában

Ahogy korábban is említettük már, Arisztotelész a természetet és a mozgást egymástól elválaszthatatlan, együtt tanulmányozandó fogalmaknak fogta fel. Így teljesen érthető, hogy a „Fizika” döntő részét a mozgások jellemzésének szentelte. Először is számba vette a mozgások és változások változatait. *Osztályozásaiban* több – egymástól függetlenül alkalmazható – szempontot is érvényesített:

1. megkülönböztette az *élőlények* és az *élettelen* testek mozgásait: az élőket lelkük önmozgásra teszi képessé;
2. elkülönítette az *égi és földi* testek mozgásait: az égi testek örök, romlatlan, körmozgást végeznek, míg a földi testek mozgásai végesek, csillapodók, és szabálytalanul görbék vagy egyenesek;
3. beszélt *természetes és kényszerített* mozgásokról: természetes mozgás az égitestek körmozgása és a földi elemek lefelé, illetve felfelé törekvő mozgása, míg a kényszerített mozgást egy közvetlenül ható másik test váltja ki;
4. végül a mozgások (változások) *kategoriális* (kategóriáknak a létezők leírásához nélkülözhetetlen fogalmakat nevezzük) osztályozását is adja, s négy fajtájukat különíti el: (a) szubsztanciális változások (keletkezés és pusztulás), mennyiségi változások (növekedés és csökkenés), (c) minőségi változások (pl. egy dolog tulajdonságának megváltozása) és (d) helyváltoztató mozgások.

A helyváltoztató mozgások kitüntetett szerepet játszanak, mivel azok megjelennek minden más mozgásban és változásban is.

Arisztotelész természetesen nem pusztán osztályozza a mozgásokat, hanem *értelmezi* is a mozgás fogalmát. Ennek jegyében megvizsgálja Zénón apóriáit is. Az apóriák értelmezése során felhasználja saját logikai eredményeit és a mozgások ellentmondásmentes értelmezését lehetővé tevő filozófiai fogalmakat alkot. Megállapítja, hogy a mozgás fogalmában a Zénón által kimutatott ellentmondás valójában nem áll fenn, mert az ellentmondó állítások *nem ugyanakkor és ugyanabban a vonatkozásban* állnak fenn, és így nem okoznak logikai nehézséget sem. Bevezeti a lehetőség és valóság fogalmaival jellemezhető létformákat, a lehetőség szerinti (potenciális) és a

valóságos (aktuális) létet. Híres tézise szerint így *a mozgás és változás a lehetőség megvalósulása, a lehetőség átmenetele a valóságosba*, a lehetőség szerinti lét valóságos létté válása.

Ezúttal Zénón „repülő nyílvesző” apóriájának felidézésével illusztrálnánk az arisztotelészi mozgásértelmezést. Zénón azt mondja, hogy a repülő nyílvesző minden pillanatban pályájának valamelyik pontjában – itt és itt – van. Ha ez mindig így van, vagyis, ha mindig *van* valahol, akkor hogyan mozogna? Hiszen mozgásához arra volna szükség, hogy valahol *ott is legyen, és ne is legyen ott*, ami ellentmondás volna, s ilyenformán lehetetlen a nyílvesző mozgása.

Az arisztotelészi magyarázat azonban felhívja a figyelmünket arra, hogy a nyílvesző „ott-léte” egyaránt tekinthető valóságosan és lehetőség szerint is: valóságosan ott van, és lehetőség szerint nincs ott. Ekkor nem ütközünk logikai ellentmondásba, hiszen az egymásnak ellentmondó állítások különböző vonatkozásban (lehetőség, illetve valóság szerint) lesznek érvényesek a nyílveszőre. A nyílvesző mozgása pontosan abban áll, hogy valamilyen valóságos „ott-léte” során az a lehetősége, hogy „nem-ott van”, megvalósul. Vagy nézzünk egy másik példát: a felnőtté válás folyamatát. Vajon ugyanaz-e a gyerek és a gyerekből kifejlődő felnőtt? Arisztotelész hangsúlyozza, hogy ez is egy megfelelően értelmezhető változás: a gyerek aktuálisan gyerek és ugyanakkor potenciálisan felnőtt. Felnőtté válása nyilvánvalóan saját lehetőségének megvalósulását jelenti. Arisztotelész továbbá azt is hangsúlyozza, hogy a lehetőségek megvalósulása mindig a már valóságosan létezők hatása alatt zajlik; ezeket a hatásokat pedig az okok fogalmának használatával kielégítően jellemezhetjük.

A mozgások arisztotelészi értelmezése lehetővé teszi a mozgások tudományos módszerekkel való, a formális logikai követelményeknek megfelelő, ellentmondásmentes leírását, s így rendkívüli jelentőségű lesz a természettudományok számára. Elvi jelentősége mellett gyakorlati használatbavételét is megfigyelhetjük, így pl. a különféle tudományokban egyaránt előszeretettel alkalmazott *állapottér* fogalmában. Az állapotér konstrukciója során a kérdéses rendszer lehetséges állapotait vesszük figyelembe, ilyen formán az állapotér a rendszer lehetőség szerinti állapotait reprezentálja. A rendszer által ténylegesen *megvalósított* állapotokat pedig az állapottérben zajló konkrét folyamatok specifikálják.

Arisztotelész tanulmányozta a *konkrét mozgások lezajlását* is, ennek eredményeként a megvalósuló folyamatokat a *dynamisz*, *energeia* és *entelekheia* fogalmak használatával értelmezte. Ezeknek az arisztotelészi fogalmaknak a magyarázatát szeretnénk segíteni a következő táblázattal:

Az arisztotelészi fogalom	korabeli jelentése	későbbi fizikai értelmezése
<i>dynamisz</i>	<i>képesség a változás lehetősége</i>	erő
<i>energeia</i>	<i>a képesség megvalósulása a megvalósulóban lévő változás</i>	(mozgási) energia
<i>entelekheia</i>	<i>a megvalósult képesség a megvalósult változás</i>	—

A *dynamisz* valamiféle képességet jelent.⁸⁸ Ezt gyakran egyszerűen erőként értelmezik, valójában aktív és passzív is lehet: például a hatás kiváltásának és a hatás eltűrésének képességét is jelenti.⁸⁹ A *dynamisz* ilyenformán a mozgásnak a „kezdeti fázisát”, a lehetővé váló változást, illetve a változás lehetőségét jelöli. A változás megvalósulásának folyamatát az *energeia* fogalmával

⁸⁸ Woodbridge F. J. E.: *Aristotle's Vision of Nature* (Columbia Univ. Press, New York, 1965), 32. o.

⁸⁹ Jammer M.: *Concepts of Force* (Harvard University Press, Cambridge, 1957), 34. o.

jellemzi Arisztotelész. Ez a megvalósuló mozgást, illetve a mozgásban lévő valóságot jelöli. A valóság, mint változások, mozgások eredménye, illetve a megvalósult mozgás: ezek az *entelekheia* fogalmával jellemezhetők. Egy konkrét folyamat lezajlása mindig ezt a rendet követi: a változás lehetőségét követi e lehetőség megvalósulása, amely változást eredményez. Ilyenformán Arisztotelésznél a konkrét folyamatoknak, illetve a valóságnak mint folyamatnak egyaránt van egy jól meghatározott trendje, iránya. Az arisztotelészi világkép így alapvetően irreverzibilis természetű. Ez egyúttal azzal a következménnyel is jár, hogy ebben a világban a dolgok változnak, keletkeznek és pusztulnak, szerveződnek – ahogyan korábban is említettük már.

Mivel Arisztotelész gyakran hangoztatja, hogy a tudás az okok ismeretén alapul, érthető, hogy természetfilozófiájában lényeges szerepe van a *dinamikai* elképzeléseknek, vagyis a mozgások okai felderítésének is. Dinamikai nézetei az általa alapított iskola neve után gyakran *peripatetikus dinamikának* nevezik – egészen a XVII. századig hatottak, s Galilei vagy Newton számára is olyan kiindulópontként szerepeltek, amelytől való elszakadást tekinthették saját feladatuknak. Maga Arisztotelész a mozgások minden osztályával kapcsolatban állást foglalt, de mivel a későbbi korok gondolkodói elsősorban a *természetes és kényszerített élettelen földi* testek *helyváltoztató* mozgásai (az ilyen mozgásokat később mechanikai mozgásoknak fogják nevezni) iránt érdeklődtek, főként az ezekre vonatkozó tanításai terjedtek el, így mi is csak erről a mozgásfajtáról beszélünk a továbbiakban. Tárgyalásunkban követjük a hagyományokat, s mi is megkülönböztetjük a természetes és kényszerített mozgások arisztotelészi dinamikáját.

Első látásra úgy tűnik, hogy a természetes és kényszerített mozgások között könnyű különbséget tenni: a *természetes mozgások* oka a mozgó dologban, a kényszerített mozgás oka nem a mozgóban, hanem egy másik testben van. Vagy ha a későbbi évszázadok során kialakított *erő* fogalmát szeretnénk a helyzet leírására használni, akkor azt kellene mondanunk, hogy Arisztotelésznél az erőnek két típusa szerepel: „az anyagba zárt platonikus erőfogalom, amit ‘természet’-nek (füzisz) hív, és a szubsztanciából kiáramló erő, a tolás és húzás ereje, amelyik egy másik testben okoz mozgást, és nem sajátmagában”.⁹⁰ (Tanulságos eme nézeteket és Newton Principiájának alapelveit összehasonlítani.) Nyilvánvaló, hogy az elsőként említett erő a természetes mozgásokat, a másodikként szereplő erő pedig a kényszerített mozgásokat okozhatja.

Mindazonáltal azt is fontos észrevenni, hogy látszólagos hasonlóságuk ellenére az élettelen testek természetes mozgása eltér az élők önmozgásától: az élettelen esetben „a dolog nem önmozgó, de tartalmazza magában a mozgás (nem aktív és ható, hanem) passzív elvét (okát)”.⁹¹ Más szóval ez azt jelenti, hogy az élettelen test *természetes mozgásának az oka részben a testben, részben pedig azokban a körülményekben* található, amelyek között van. Nem feltétlenül mozog, csak bizonyos körülmények fennállása esetén. Például egy kő természete szerint nehéz, s így nehézsége révén mozoghat, ám csak akkor válik valóban mozgóvá, ha nem a földön, vagyis nem az ő természetes helyén található, hanem mondjuk a levegőben. Ekkor lezuhan, vagyis a saját természetének (nehézség) megfelelő természetes helyre (a földre) „törekszik”. Azt is mondhatnánk, hogy ebben az esetben a *mozgás oka megoszlik a test és környezete között*, vagyis észrevehetjük, hogy a „természet” inhomogén eloszlásával van dolgunk: a test által hordozott, hozzá kötött „természet” különvált a test „természetes hely”-étől, ami viszont a világrend által determinált. A mozgás azért jön létre, hogy helyreálljon az egyenmű rend, a különvált

⁹⁰ Jammer könyvének 35–36. oldala.

⁹¹ *Fizika* 255b, a korábban idézett kiadás II. kötet, 317. o.

„természetek” egyesülhessenek, a kő elfoglalja azt a helyet, amit számára a világrend kijelöl, s a világrend ebben az esetben is érvényre jut. (Ha pedig a konkrét folyamat szempontjából vizsgáljuk ezt a mozgást, jól látható, hogy a folyamatban megjelenik a különválasztott természet mint *dinamisz*, a homogenizáló mozgás mint *energeia*, s a beálló egyensúly mint *entelekheia*.)

A *kényszerített mozgások* esetében a mozgás két faktora (a mozgató és a mozgatott) világosan különválik, s a *mozgató hatás* egyértelműen a *mozgató testhez kötődik*. A mozgatott test szerepe itt: a mozgatás elszenvedése – a mozgás megvalósulása szempontjából ez is egy fontos képesség. Arisztotelész a Fizika VII. könyvében helyváltoztató mozgás esetére a mozgató és a mozgatott dolog jellemzői, valamint az elmozdulás és a mozgáshoz szükséges idő közötti kvantitatív összefüggéseket is leírja. (Valójában a természetes mozgásokra vonatkozó arisztotelészi gondolatmenetek figyelmes elemzése révén megmutatható, hogy azok kvantitatív jellemzése is lehetséges, s hasonló összefüggéseket kapunk.) Az ilyenformán kvantitatív gondolatkísérletekkel is alátámasztott arisztotelészi (vagy peripatetikus) dinamika legfontosabb jellemzői:⁹²

1. a mozgás fenntartásához folyamatos hatás (hatóerő) kell,
2. a mozgás „sebessége” egyenesen arányos a mozgató hatással,
3. a mozgás egy kezdettel és véggel rendelkező folyamat, és nem a test állapota.

Vegyük észre, hogy ebben a dinamikában nem a mozgásállapot *megváltoztatásához* van szükség a mozgató hatásra, hanem a mozgás *fenntartásához*. Vagyis a mozgót befolyásoló mozgató hatás nem a mozgó gyorsulásával, hanem a sebességével arányos. (Persze Arisztotelész nem az „erő” fogalmát használja, hanem „mozgató”-ról beszél, és nem alkalmazza explicit módon az sebesség fogalmát sem, hanem bonyolult módon körülírja a szituációt.) A peripatetikus dinamika ezen alapelvei nyilvánvalóan eltérnek a XVII. században létrehozott klasszikus pontmechanika alapelveitől. Ezt a tényt sok esetben mint az arisztotelészi szemléletmód alapvető hibáját szokták felemlíteni. Valójában pedig az a helyzet, hogy a peripatetikus dinamika pontosan írja le a *szemlélhető* mozgásokat. A szemlélet számára hozzáférhető mozgások ugyanis egyrészt a súrlódásos mozgások, s ezekkel összhangban vannak a peripatetikusok tételei.⁹³ Másrészt ebbe a kategóriába tartoznak a termikus folyamatokra vonatkozó tapasztalatok is. Megmutatható, hogy az arisztotelészi dinamikai elvek teljesen megfeleltethetőek a termikus tapasztalatokat értelmező nem-egyensúlyi termodinamika elveinek.⁹⁴ Mindezek azt támasztják alá, hogy az arisztotelészi dinamika valójában nem tekinthető sem pusztán mechanikainak sem pusztán termodinamikainak, hanem sajátos egységben tartalmazza mindkét – később kifejlődő – alternatív lehetőséget. A fizikai gondolkodás sajátos fejlődése következtében mechanikai tartalmi hasznosítódtak és megőrződtek, termodinamikai vonatkozásai azonban mellőzöttek voltak és elfelejtődtek. Az újkorban eluralkodó mechanisztikus szemléletmód hatására a XVII. századtól az arisztotelészi dinamikát már csak kezdetleges, tökéletlen és hibás mechanikának látják.

Ha az arisztotelészi dinamikai elgondolások kialakulásának és későbbi értékelésének társadalmi körülményeit is figyelembe vesszük, akkor talán valamiféle magyarázatot kaphatunk az értékelésében megfigyelhető változásokra is. Arisztotelész nézeteiben ugyanis egyaránt ráismerhetünk a közösség elfogadott rendjébe feltétlenül beletagozódni akaró egyed viszonyaira,

⁹² Leírását lásd pl. Simonyi K.: *A fizika kultúrtörténete* (Gondolat, Budapest, 1978) című művében.

⁹³ Lásd Simonyi könyvének megállapításait.

⁹⁴ Martinás K., Ropolyi L.: Az arisztotelészi termodinamika kifejlődésének kultúrtörténeti korlátairól, *Magyar Filozófiai Szemle* 31(1) [1987], 1–29. o.

valamint a közösségtől lassacskán különváló, jól azonosítható individuumok lehetséges problémáira is. Ez azzal magyarázható, hogy az antik görög világban Arisztotelész idejében beindulni látszott egyfajta „polgárosodási” folyamat, de hamarosan leállt s csak az újkorban folytatódott. Ez egyúttal azzal a következménnyel is járt, hogy az individualizáció értékrendjével való összhang megteremtése során az arisztotelészi fizika – fals – mechanisztikus interpretációja vált dominánssá.

(3) Az anyag szerveződésének problémái az arisztotelészi fizikában

Mint már említettük, Arisztotelész a természeti létezőket hordozó közegként jellemzi az anyagi szubsztanciát. Arisztotelész sok érvet hoz fel az üresség létezésének lehetetlensége mellett, így ez a közeg (szubsztrátum) folytonosan kitölti a teret, bár csak potenciálisan létező, és a dolgok létezésének lehetőségét hordozza. Valóságos létről akkor beszélhetünk, ha valamilyen dolog formai szubsztanciája az anyagi szubsztanciával egybekapcsolódva, azt immár a tulajdonképpeni igazi szubsztanciává, konkrét, valóságos létezővé teszi. A konkrét létezők által benépesített valóságos világban sincs üresség persze, hiszen testek vannak mindenütt. Ilyen elvek alapján az anyagi világ felépítése a következő:

A világot kitöltő szubsztrátumot elsődlegesen megragadó *formák az elemi* vagy elsődleges *minőségek*. Ezek, a formák általános természetének megfelelően, ellentétpárokba rendezetten érvényesülhetnek. Arisztotelész egy aktív és egy passzív minőségpárt kiemel, mint olyanokat, amelyek már elegendőek pl. a testeket alkotó elemek (tűz, víz, föld, levegő) konstrukciójához is. A meleg és a hideg az aktív elsődleges minőségek, a száraz és nedves a passzívok. A többi, ugyancsak ellentétpárokba rendezhető minőség (nehéz-könnyű, finom-durva, folyós-szilárd, kemény-lágy stb.) levezethető a fenti négy minőségből.⁹⁵ Az elemeket egy aktív és egy passzív minőség létesíti: a hideg és száraz a földet, a hideg és nedves a vizet, a meleg és nedves a levegőt és a meleg és száraz a tüzet. Az elemek folytonosan átalakulhatnak egymásba. Az elemekből keletkező keverékekben a minőségek is egyszerűen összekeverednek.

A testekben az elemek (s így a minőségek) keverékeit találjuk. Kérdés, hogy hogyan állnak össze, hogyan szerveződnek a testek a rendelkezésre álló elemekből? Korábban Démokritosz zuhanó és összeütődő, összekapcsolódó atomjai jelentették a megoldást. Arisztotelésznél nincsenek atomok, és nincsen üresség sem a zuhanáshoz. Így új szervező hatásokat kell találnia. A meleg és hideg játsszák ezt a szerepet. Ezeknek, mint termikus hatásoknak ugyanakkor kettős funkciójuk van. Egyrészt mint szervező erők, mint formák működnek,⁹⁶ másrészt konkrét termikus természetüket is érvényesítik, ilyen formán pl. a beteg testet a meleg rendbe tudja hozni. Hasonlóan érthető meg például a különböző testek eltérő hőmérséklete is: eltérő arányban tartalmaznak hideget és meleget. Mindazonáltal a testek nem pusztán az elemi összetevőik által minőségileg determináltak, hanem háromdimenziós kiterjedéssel és határokkal rendelkező objektumok is. Ahogy Arisztotelész írja: „A testet úgy definiálják, mint amit határol – vagy aminek határa – a felület.”⁹⁷ Látható, hogy a testek egyes tulajdonságait „termikus” szervező hatásokat közvetítő elemek alakítják ki, míg másokat a létezőket egymástól elválasztó felület biztosítja. Így az arisztotelészi test is „átmeneti” képződmény, egyszerre termikus-vegyi és mechanisztikus

⁹⁵ *Metafizika* 1015a, a fentebb idézett jegyzet 96. oldalán.

⁹⁶ Solmsen F.: *Aristotle's System of the Physical World. A Comparison with His Predecessors* (Cornell University Press, Ithaca, 1960), 362. o.

⁹⁷ *Fizika*, 204b, a korábban idézett kiadás I. kötetének 233. o.

objektum. Arisztotelésznek az anyag szerveződésére, és a testek természetére vonatkozó tanítása így két irányba is fejleszthetővé vált. Egyrészt alapja lehetett az anyag *minőségi* átalakítására törekvő *alkimisták* világképének, másrészt a felülete által bennfoglalt *anyagmennyiség* meghatározása révén a testek legfontosabb *mechanikai* tulajdonságának (a tömegnek) a fogalmát is az arisztotelészi fogalomra lehetett építeni.

Mindezek persze a földi testekre érvényesek. Az égitestek azonban egy ötödik anyagból, éterből állnak, melynek tulajdonságai kiválóságukkal meghaladják a közönséges anyagokét.

Az arisztotelészi fizika számos fent említett gondolata a későbbi történeti fejlődésben kialakuló tudományos diszciplínák nélkülözhetetlen részévé vált. Az arisztotelészi eszmék eredeti vagy némileg átértelmezett változataikban világosan jelen vannak a csillagászat, a fizika, illetve az alkímia, az orvoslás és az állattan tudományos elgondolásai között legalább a XVII. századig.

c) *A sztoikus természetfilozófia szemléletmódja*

A sztoikus filozófiai rendszer már kifejlődésének korai fázisában – az i. e. IV–III. században, kitioni Zénón (i. e. 336–264) és Khrüszipposz (i. e. 281–208) hozzájárulásával – kialakította természetfilozófiai álláspontját. Természetfilozófiai *alapelvek* sok vonatkozásban emlékeztetnek az arisztotelészi felfogásra, de világfelfogásuk egészében mégis jelentősen eltér attól.

A sztoikus természetfilozófia szerint a világ egybefüggő, folytonos, dinamikus egész s ekként érthető meg. Eme egység egyik megfogalmazásának tekinthető a pneumáról szóló tanításuk. (Pneuma fogalmuk némileg emlékeztet Arisztotelésznek a passzív anyagi szubsztrátumról és – az anyagi szubsztrátumtól potenciálisan elkülönülő – aktív formáról kialakított nézetrendszeréhez.) Felfogásuk szerint csak ható és hatást elszenvedő objektumok, vagyis testek létezhetnek, azaz minden létező test. A testeket alkotó aktív (ható) princípium a pneuma, passzív (hatást elszenvedő) princípium az anyagi szubsztancia. A *pneuma* (szó szerinti jelentése: lélegzet) tehát a *világot folytonosan kitöltő dinamikus* – változékony, s belső kohéziós, szervező erővel rendelkező – *kontinuum*, ami teljesen áthatja az anyagi kontinuumot s ezáltal hozza létre az anyagi világ különféle objektumait. A sztoikusok pneuma fogalmában a milétoszi Anaximenész (i. e. 585–525) *levegő* princípiumának és az epheszoszi Hérakleitosz (i. e. 550–475) *tűz* princípiumának sajátos egyesítését figyelhetjük meg.⁹⁸ A pneumát ilyenformán „*tűzes lélegzet*”-nek is mondhatjuk, ami – az élőlényekben is megfigyelhető viszonyokhoz teljesen hasonlóan⁹⁹ – minden létezőt átjár és szervező erejénél fogva, mint „mesteri módon alkotó tűz”,¹⁰⁰ determinálja a létezők természetét. A pneuma egy sajátos „belső feszültséggel” is rendelkezik, ami pl. a benne foglalt ellentétes adottságokból (pl. hideg és meleg) táplálkozik, és ami lehetővé teszi folyamatos aktivitását, ezáltal mintegy folyamatosan „kifeszítve”, fenntartva az önmagában egyébként passzívan összeomolni kész anyagi szubsztanciából kialakuló testeket. A pneuma ilyen formán nem csak az egyes testekben, hanem az összes testből felépülő *világban* megfigyelhető *rendet*, rendezettséget is biztosítja, vagyis *logosz*, ész, értelem, törvény is. A Természet harmonikus és egységes egészet alkot.

A *világ egységességét* hirdető sztoikus felfogás további fontos ontológiai következménye *panteizmusuk*, mely szerint Isten és Természet egy. A világban minden egyértelműen determinált, még akkor is, ha ez az ember számára aktuálisan nem látható át. Kikutathatók a világ törvényei, –

⁹⁸ G. N. Cantor, M. J. S. Hodge (eds): *Conceptions of ether* (Cambridge U. P., Cambridge, 1981), 3. o.

⁹⁹ G. E. R. Lloyd: *Greek Science After Aristotle* (W. W. Norton, New York, 1973), 29. o.

¹⁰⁰ A. A. Long: *Hellenisztikus filozófia* (Osiris, Budapest, 1998), 196. o.

de ezek is egységesek, mindent áthatóak, mindet kormányoznak, vagyis nincsenek *külön* természeti és emberi törvények.

A sztoikusok érdeklődése később inkább társadalmi és erkölcsi kérdésekre koncentrálódott, de természetfilozófiájuk hatott Alexandriában, Rómában, s közvetítésekkel később is. A középkori világnézetben a sztoikus rendszer háttérbe szorult, de egyes elemei beépülve a platonista vagy arisztotelészi rendszerekbe jelen lehettek. Így például a földi és égi jelenségeknek egységes, összefüggő rendszerként való sztoikus felfogása jelentette az *asztrológia* – s kisebb részben az alkímia – egyik elméleti-ideológiai bázisát. A későbbiekben nézeteik felbukkannak Bruno és Spinoza természetfelfogásában és a fizika mezőelméletét kidolgozó fizikusok gondolkodásában is.

Részletesebb elemzések a későbbi korok fizikusainak „éter” fogalmában vélik megtalálni a sztoikus pneuma fogalom továbbélését. Az éter gyakran valóban mindenben áthatoló közegként szerepel a fizika elméleteiben – bár nem mindig tulajdonítanak neki aktív szervezőerőt is.¹⁰¹ Talán még nyilvánvalóbb a pneuma fogalmának és a modern fizika *erőtér* fogalmának a hasonlósága.¹⁰² Az erőtereknek (mezőknek) napjainkban tulajdonított tulajdonságok legtöbbször (hatóerő, kontinuitás, dinamizmus, a testeket összetartó sajátos erők stb.) megtalálható a sztoikusok pneuma fogalmában is, így nézetrendszerüket talán joggal tekinthetjük a *kontinuumfizika* első, természetfilozófiai formában megjelenő változatának.

3. Fizika a görög tudomány klasszikus korszakában

A hellenizmus tudományos teljesítményei jelölik ki az antik görög tudományos gondolkodás klasszikus korszakát. Ez az i. e. 300–100 közötti időszak, amikor a geometria, a csillagászat és részben a mechanika is elindul az önálló tudománnyá válás útján. Erre az időszakra tehető az alexandriai „Múzeum és Könyvtár” virágkora s olyan tudósok munkássága, mint Eukleidész, Arkhimédész és Apollóniosz. A korszak legjelentősebb fizikai eredményei kétségtelenül Arkhimédész tevékenységéhez kapcsolódnak. A legjelentősebb tudósok számos fontos gondolatát már ismertettük könyvünk antik csillagászati és matematikai fejezeteiben, így itt pusztán néhány további (inkább a fizika témakörébe tartozó) részlettel fogjuk kiegészíteni a korábban mondottakat. Ám mindezek előtt szeretnénk röviden felidézni az athéni Lúkeionban művelt peripatetikus fizika néhány fejleményét, és az antik görög tudományos gondolkodás fejlesztésében, a tudás rendszerezésében és diszciplinárizálódási folyamatának előrehaladásában, a görögök ismereteinek és gondolkodásmódjának széleskörű elterjesztésében alapvető szerepet játszó „tudományos intézmény”, az alexandriai „Múzeum és Könyvtár” történetét.

a) Fizika a hellenisztikus Athénben

A korabeli Athénben legalább három – egymástól határozottan elkülönülő, és egymás nézeteire gyakran hivatkozó természetfilozófiai tanítás is jelen volt: a *sztoikus*, az *epikureus* és a *peripatetikus* (arisztotelészi) gondolatrendszerek. Ezek mindegyike szerepet játszik a fizika későbbi történetében, de az éppen kialakulófélben lévő szaktudományos szemléletmód elsősorban a peripatetikus természetfilozófiát hasznosítja. Arisztotelész halálát (i. e. 322) követően iskolájának, a Lúkeion-nak meghatározó jelentőségű gondolkodói – nyilvánvalóan figyelembe véve a kortárs rivális gondolkodók eredményeit is – persze néhány fontos új elemmel is gazdagítják az arisztotelészi tanításokat. Mindenekelőtt Theophrasztosz (aki i. e. 323 és 286

¹⁰¹ Lásd a fentebb idézett *Conceptions of ether* című könyv tanulmányait.

¹⁰² S. Sambursky: *Physics of the Stoics* (Routledge, London, 1959).

között irányította a Lúkeion munkáját) és Sztratón (aki i. e. 286 és 268 között volt az iskola vezetője) módosításai érdekesek. Kérdés, hogy milyen alternatív véleményekkel kellett szembesülniük? Elsősorban az atomizmus természetfilozófiai álláspontjával.

Az arisztotelészi nézetekkel és a sztoikusok fentebb jellemzett természetfilozófiai felfogásával is élesen szemben állt Epikurosz (i. e. 341–271) tanítása. Különösen két kérdéskörben, az *üresség* létezése tárgyában és a világ jelenségeinek és folyamatainak meghatározottsága, vagyis a *determinizmus* természete témakörében tértek el felfogásaik. Mint már említettük, Epikurosz Démokritosz atomizmusának követője és nézeteinek továbbfejlesztője volt. Két fontos ponton változtatott a démokritoszi elgondolásokon. Az atomok jellemzésére (mint egymástól való megkülönböztetésükre alkalmas elsődleges tulajdonságukat) figyelembe vette azok *súlyát* is, s úgy gondolkodott, hogy mivel az űrben a különböző súlyú atomok egyforma sebességgel esnek (ebben a kérdésben ellentmond Arisztotelésznek is), a Démokritosz által javasolt egyenes vonalú „zuhanás” mellett fel kell tételezni az atomok másfajta mozgását, a szabályos egyenes mozgástól való véletlenszerű „elhajlás”-okat is, hogy ezek révén az összeütköző atomokból létrejöhessenek a megfigyelhető testek. Az atomok „önkéntes” elhajlásának lehetősége megengedi, hogy az objektumok természete és folyamatai ne kizárólag más objektumok hatásai révén determinálódnak, s egy olyan determinizmus-felfogást képvisel, amelyben a *véletlennek*, illetve a kérdéses objektum saját természetének, „*szabad akaratának*” is szerepe lehet a dolgok, folyamatok meghatározásában. Ez a felfogás lényeges pontokon ellentmond az arisztotelészi determinizmus koncepciónak (Arisztotelész lényegében elutasítja a véletlen fogalmának alkalmazását) és nyilvánvalóan ellentétes a sztoikus nézetekkel is.

Érdekes megfigyelni, hogy Theophrasztosz és Sztratón természetfilozófiai nézeteikben mennyire eltérő formában reagálnak ezekre a problémákra. Így például mindketten megmaradnak ugyan a peripatetikus filozófia keretei között, de míg Theophrasztosz inkább védelmezi a hagyományos arisztotelészi álláspontokat, s elmésen kritizálja az atomizmust, Sztratón már sokkal inkább kész az atomizmus számos alapvető tézisének az elfogadására, és arra törekszik, hogy beépítse őket az arisztotelészi fizika rendszerébe.

Theophrasztosz „Az érzékekről” szóló művében részletesen bemutat sok fontos atomista nézetet.¹⁰³ Ennek során ismerteti pl. az ízekről és színekről szóló démokritoszi tanítást s rámutat hiányosságaira és következtelenségeire. Többek között kifogásolja, hogy Démokritosz egyes minőségeknek (a keménynek, lágynak, nehéznek, könnyűnek, egyes ízeknek) saját természetet is tulajdonít, s ugyanakkor azt is mondja, hogy ezek a minőségek csak a hozzánk való viszonyukban léteznek. Vagyis azt a nehéz kérdést veti fel, hogy az atomizmus vajon elsődleges (az érzet-tárgyakhoz tartozó), vagy másodlagos (az érzékelő személytől függő) minőségeknek tekinti a dolgok tulajdonságait? Ismerteti az egyszerű színekre (fehér, fekete, vörös, zöld) és keverékeikre vonatkozó atomista felfogást s kimutatja tökéletlenségeit.

Theophrasztosz ugyanakkor kritikusan viszonyul az – Arisztotelész által is elfogadott – elemekről szóló tanításokhoz is. „A tűzről” szóló művében több érvet is felhoz a tűz elemi volta ellen. Így pl. fontosnak tartja, hogy míg földet, levegőt és vizet nem tudunk előállítani, tüzet igen; továbbá, hogy a tűzhöz mindig szükség van valami szubsztrátumra (anyagra) is, így azt inkább valamiféle mozgásnak és nem elemnek kellene tekinteni.¹⁰⁴ Jelentős „A kövekről” című munkája is, amelyikben az ásványi anyagok két nagyobb csoportját a (víz elem által dominált) „fémeket” és

¹⁰³ Görög gondolkodók 5 (Kossuth, Budapest, 1995), 1–81. o.

¹⁰⁴ G. E. R. Lloyd: *Greek Science After Aristotle* (W. W. Norton, New York, 1973), 10. o.

a (főként föld elemből álló) „köveket” és „földeket” írja le.¹⁰⁵ Kritikusan viszonyul az arisztotelészi célokságról szóló nézetekhez is. Hangsúlyozza, hogy a természetes folyamatokban a véletlenek is fontos szerepe lehet és, hogy az ilyen folyamatok gyakran nem vezetnek el valamiféle „vég”-hez.

A Lükeion következő vezetője lampszakoszi Sztratón – akit „a fizikus” néven különböztetnek meg egyik névrokonától – munkásságában az atomelmélet által felvetett kérdések talán még elődjénél is fontosabb szerepet kaptak. Sztratón művei elvesztek ugyan, de a nézeteit műveikben felidéző Hérón (I. század vége–II. század eleje) és Szimplikiosz (VI. század) arról tudósítanak bennünket, hogy Sztratón határozottan állást foglalt az üresség létezése mellett, és ezt a meggyőződését egyszerű kísérletekre való hivatkozással is alátámasztotta. Ebben a vonatkozásban – úgy tűnik – elfogadta ugyan a természetes, folytonos üresség tagadásának arisztotelészi felfogását, de ugyanakkor feltételezte az atomok közötti, „atomi méretű” üresség létezését is, hiszen pl. nyilvánvalóan képesek vagyunk összenyomni testeket, vagy pl. egyes testek képesek másokba behatolni. Sztratón eme nézetei fontos szerepet játszanak Hérón pneumatikájának létrejöttében.

Sztratón érdekes eredményekre jutott a szabadesés jelenségének tanulmányozása során is. Az ereszről lecsorgó víz mozgását, illetve a különféle magasságokból elejtett tárgyakat megfigyelve, arra következtetett, hogy földetérésük sebessége arányos lesz az esés magasságával.¹⁰⁶ Ennek a megfigyelésnek az értelmezése sok későbbi fizikusnak okozott nehézséget, s végül évszázadok múltán a gyorsulás fogalmának kialakulásához vezetett.

A természetes mozgások arisztotelészi felfogásával kapcsolatban rájött, hogy szükségtelen a nehéz testek lefelé való és a könnyűek felfelé törekvését külön deklarálni, mivel a nehezek lefelé törekvő mozgása már szükségszerűen együtt jár a könnyűek felemelkedésével.

Egyes történészek azt is valószínűnek tartják, hogy Sztratón volt a szerzője egy sokáig Arisztotelésznek tulajdonított „Mechanika” (más címen: „Mechanikai problémák”) című műnek. Ebben a könyvben egyrészt megtalálható az emelőkre vonatkozó törvény (vagyis, hogy a súly és az alátámasztás távolsága fordítottan arányosak) leírása, bár még nem matematikai formában; másrészt a sebességek összeadásának paralelogramma szabálya, vagyis a független mozgások vektor-összeadási elve is.

Sztratón más vonatkozásokban szintén jelentős hatású tudós volt. Munkásságuk alapján valószínűsíthető, hogy az ő tanítványa volt a csillagász Arisztarkhosz (i. e. 320–250) és az orvos Erasizsztratosz (i. e. 300–240). Mások mellett neki is jelentős szerepe volt az Alexandriában létrehozott Múzeum és Könyvtár kialakításában.

A Lükeion későbbi tevékenységével kapcsolatban sajnos csak kevés eredeti eredményről tudnánk beszámolni. Kétségtelenül nagy jelentőségű azonban rhodoszi Andronikosz (i. e. I. század) munkássága, aki összegyűjtötte, rendszerezte, összeállította, publikálta, és ezzel szélesebb kör számára hozzáférhetővé tette Arisztotelész tudományos munkáit.

b) Az alexandriai Múzeum és Könyvtár

Alexandria városát Nagy Sándor alapította „Egyiptom mellett”,¹⁰⁷ vagyis Egyiptom földjén, de görög városként, a Nílus deltavidékén, Pharosz szigeténél. Alexandria lett a Sándor halálával felbomló birodalom egyik részének kereskedelmi, politikai és kulturális központja, a

¹⁰⁵ Uo. 11–12. o.

¹⁰⁶ M. Clagett: *Greek Science in Antiquity* (Abelard-Schumann, New York, 1955), 71. o.

¹⁰⁷ A. Swiderkowna: *A hellenizmus kultúrája* (Gondolat, Budapest, 1981), 109. o.

Ptolemaioszok birodalmának fővárosa. A város lakosainak száma meghaladta a félmilliót, akik sokféle nép fiai-lányai voltak, bevándorolt egyiptomiak, zsidók, görögök, keletiek, de leginkább helybeliek, vagyis „alexandriai hellének”.

A gazdasági és politikai centrum elmozdulását hamarosan követte a kultúra centrumának mozgása is: Athénben fennmaradtak és tovább dolgoztak ugyan a filozófiai iskolák (a platóni Akadémia, a peripatetikus Lúkeion, Epikurosz „Kert”-je és a sztoikusok iskolája), s így továbbra is Athént tekinthetjük a *filozófiai* gondolkodás központjának, de fontos új kulturális központ jött létre Alexandriában – az antik *tudomány* központja. A dinasztiaalapító Ptolemaiosz Szótér (I. Ptolemaiosz) hívására sok művész, tudós, orvos és filozófus érkezett Alexandriába. Az i. e. III. század első éveiben kezdtek hozzá egy – leginkább Arisztotelész athéni peripatetikus iskolájának mintáját követő – tudományos intézmény kialakításához. A hamarosan kiépülő *Múzeum* (Muszeion) az első európai tudományos kutatóközpontnak tekinthető, amelynek felépítését, fenntartását és működését a mindenkori uralkodók finanszírozták.

(Muszeion: a múzsák székhelye, a múzsáknak szentelt liget. Múzsáknak hívták az ókorban a művészetek – az ének, zene, tánc és a költészet – valamint a tudományok, illetve később minden szellemi tevékenység oltalmazó istennőit.) A Múzeumban egyszerre több száz tudós tevékenykedhetett, valamennyien az uralkodó által meghívott, vendégül látott és kutatásaiban támogatott kutatóként, akik tudományos üléseken, vitákkal fűszerezett közös lakomákon is részt vehettek. Állat- és növénykert, csillagvizsgáló, sőt az orvosok számára boncteremek – gyakran boncolták pl. kivégzett bűnözők tetemeit – álltak a kutatók rendelkezésére. Ezek között a keretek között filológiai, csillagászati, matematikai, botanikai, zoológiai és orvosi kutatások egyaránt folytak.

A Múzeumhoz kapcsolódóan hamarosan létrehozták a *Könyvtárat* is, amely minden létező antik írásmű összegyűjtésére és feldolgozására törekedett. A Könyvtárban az alapítását követő kétszáz év során félmilliónál több papirusztekercset gyűjtöttek össze, irodalmi és tudományos műveket, görög nyelvű és idegen nyelvekről fordított írásokat; megszerezték például Arisztotelész híres, 376 tekercsből álló könyvtárát is. Gondot fordítottak a hatalmas gyűjtemény kritikai feldolgozására is, a műveket rendszeresen másoló írnokok alakították ki *a könyv, mint olyan* tulajdonképpeni szerkezetét. A Könyvtár vezetői jelentős művészek és tudósok, egyben a trónörökös neveléséért felelős személyek is voltak: így például a filológus Zénodotosz (i. e. 330–260), vagy később a rendkívül sokoldalú Eratoszthenész (i. e. 275–195), a matematikai földrajz nagy alakja, Arkhimédész barátja.

A Múzeum mintegy 700 éven át működött (nagyjából az i. e. 300 és az i. sz. 400 közötti időszakban), bár nem mindig egyformán kedvező körülmények között. Különösen az első százötven-kétszáz éve volt jelentős. Története során olyan tudósok töltöttek itt hosszabb-rövidebb időt, mint Eukleidész, az orvos Hérophilosz (i. e. III. század), a peripatetikus lampszakoszi Sztratón (i. e. III. század), Arkhimédész (i. e. 280–212), Eratoszthenész, a matematikus pergéi Apollóniosz (i. e. III. század), a csillagász Hipparkosz (i. e. 190–125), a Julius Caesar-féle naptárreformot elősegítő Szoszigenész (i. e. I. század), a mechanikus Hérón (I. sz. vége–II. sz. közepe), a híres Ptolemaiosz (83–161), a matematikus Diophantosz (III. század), Papposz (320 körül) és Hüpatia (370–415).¹⁰⁸ A Múzeum működésének vallási fanatikusok támadásai vetettek véget. A Múzeumhoz kapcsolódó Könyvtár i. e. 47-ben részben elpusztult, a maradványok

¹⁰⁸ R. Taton (ed.): *History of Science. Ancient and Medieval Science from the Beginnings to 1450* (Basic Books, New York, 1963), 264. o.

valószínűleg a Múzeummal együtt semmisültek meg a IV. században. Más források azonban arról tudósítanak, hogy csak 641-ben, Alexandria arab megszállása során tüzelték el a megszálló csapatok a könyvtár könyveit. Tanulságos történet. Úgy néz ki, hogy a könyvek sokak szemében nagyon veszélyes dolgok.

Figyelemre méltó, hogy az alexandriai Múzeumhoz és Könyvtárhoz hasonló intézmények az ókorban más helyeken is szerveződtek, bár azok kulturális hatása lényegesen kisebb volt. Jelentősebb intézmények működtek pl. a kisázsiai Pergamonban (ahol a pergamen használatát, vagyis a megfelelően kikészített állati bőrre való írást is feltalálták), majd később Rómában és Konstantinápolyban is.

Az alexandriai Múzeum és Könyvtár rendkívüli jelentőséggel rendelkezett a hellenikus kultúra kialakítása, művelése és elterjedése szempontjából. Működése során döntő mértékben járult hozzá a tudományos és filozófiai gondolkodásmód elválásához, megfelelő feltételeket és kedvező kereteket biztosítva a kialakuló tudományos gondolkodás és tudományos módszertan fejlődéséhez és megerősödéséhez, számos tudományos diszciplína megjelenéséhez, illetve megszilárdulásához, a tudománnyal hivatásszerűen foglalkozó *tudósok* megjelenéséhez.

c) Arkhimédész, az ókor legjelentősebb matematikai fizikusa

A görög tudós klasszikus alakja Arkhimédész (i. e. 287–212). Legendás élete és az elmélyült gondolkodás által uralt személyisége már kortársai körében csodálatot váltott ki. A Szicília szigetén található Szirakuzában élt és dolgozott, bár bizonyosnak látszik, hogy valamennyit tartózkodott Alexandriában is. Mechanikai, illetve gépszerkesztői munkássága mellett elsősorban matematikai, illetve a matematika módszerét alkalmazó fizikai kutatásai tették híressé. (Utóbbi tevékenységét ma talán matematikai fizikainak mondanánk.) Lenyűgöző tudományos teljesítményével és kutatási módszereivel kivívta Galilei és Einstein csodálatát is.

Arkhimédész legfontosabb matematikai eredményeiről könyvünk görög matematikai fejezetében már szóltunk. Másrészt köztudott, hogy nagy jelentőségű matematikai eredményei mellett számos fontos fizikai tételt is felismert, így például az ő nevéhez fűződik több alapvető *statikai* tétel kimondása és matematikai nyelven való megfogalmazása. Korabeli források beszámolnak Arkhimédész gépezetépítő zsenialitásáról is („adatok egy fix pontot, és én kifordítom sarkaiból a világot”), a különféle általa épített mechanikai eszközökről, különösen hatásos hadigépekről és egy – az égitestek mozgását utánzó – planetárium létrehozásáról is.¹⁰⁹

Vegyük észre, hogy Arkhimédész fizikai munkássága látszólag *nem* illik bele a korabeli peripatetikus fizika rendszerébe. Ahogy már említettük is: az arisztotelészi fizika a dolgok és folyamatok leírásában azok *természetének* jellemzésére tette a hangsúlyt, vagyis elsősorban a minőségi különbségek érdekelték, így általában mellőzte a mennyiségi leírást és a matematika használatát. Arkhimédész pedig – úgy tűnik – éppen az ellenkezőjét csinálja: a vizsgált fizikai jelenségek matematikai leírására törekszik. Vajon miért, vajon miféle motivációk hatására törekszik erre, tevékenysége vajon ténylegesen ellentétben áll a peripatetikus gondolatvilággal? Az e kérdésekre adandó válaszhoz vizsgáljuk meg, hogy az arisztotelészi tudományfelfogásban vajon milyen kapcsolatot tételezhetünk fel a matematika és a fizika (természetfilozófia) között?

Az arisztotelészi tanítás szerint a fizika (természetfilozófia) azokkal a dolgokkal foglalkozik, amelyeknek *önálló létük* van, de *nem változatlanok*, vagyis a változás és nyugalom elvét magukban hordozó „természetes” dolgokkal. A matematika tárgya ellenben a *változatlan*, ám *önálló léttel*

¹⁰⁹ Lásd pl. Szabó Á., Kádár Z.: *Antik természettudomány* (Gondolat, Budapest, 1984), 155–161. o.

nem rendelkező dolgok (mint pl. a számok és a térbeli alakzatok) tanulmányozása. E definíciók szerint tehát a matematika és fizika az arisztotelészi tudományrendszerben egymást kölcsönösen kizáró tudományterületeknek tűnnek, így érthetőnek látszik, hogy a peripatetikus fizikusok nem hasznosították a korabeli matematikát. Ám, ha kicsit alaposabban szemügyre vesszük a fenti meghatározásokat, más eredményt is kaphatunk.

Vizsgáljuk meg először a matematika értelmezését. A matematikai objektumok létezésének kérdésében az arisztotelészi szemléletmód radikálisan szemben állt Platón tanításával. Platón a matematikai objektumoknak a konkrét fizikai létezőktől független, önálló, örök létezését tulajdonított az ideák tökéletes világában. Arisztotelész Platónnal szemben azt hangoztatta, hogy a matematika objektumai a (változékony) fizikai testek bizonyos – a változékonyságtól elvonatkoztatott, s így *állandónak* tekinthető –, de *önállóan nem létező* meghatározottságai. A matematika fogalmi (a szám, az egyenes, a görbe, stb.) vizsgálhatók úgy, hogy mellőzzük a mozgásokkal, illetve az érzéki valósággal való kapcsolatukat, de ez nem jelenti azt, hogy ezek a fogalmak önmagukban, önállóan is léteznének, ezek pusztán elvonatkoztatások. A matematikus elvonatkoztat mindentől, ami érzékelhető – például a vizsgált dolog nehéz vagy könnyű voltától, a keménységétől és lágyágától, a dolog minőségét meghatározó melegtől és hidegtől, s csak a dolog egyetlen oldala érdekli, csak azt tartja meg, ami tisztán mennyiségi jellegű.¹¹⁰ Világos, hogy pl. a legváltozatosabb anyagú, hőmérsékletű, keménységű, sebességű stb. dolog lehet egy, kettő, három stb., s amennyiben csakis a számokat akarjuk tanulmányozni, az összes említett adottságtól el kell tekintenünk. Az is nyilvánvaló, hogy a dolog „száma” nem változik meg, ha melegebb, hidegebb, gyorsabb, lassabb, vagy akár keményebb lesz, a „szám” fogalma tehát kifejez valamiféle állandóságot is. Mindebből remélhetőleg látható, hogy az arisztotelészi tudományfelfogást követve egyáltalán nem lehetetlen matematikát használni bizonyos fizikai összefüggések leírására – mindössze arra van szükség, hogy megfelelő módon válasszuk ki a vizsgált fizikai jelenségekört és szemléletmódot.

Arkhimédész választása az *egyensúlyokra* esett, vagyis az általa tanulmányozott fizikai jelenségekben éppen az *állandóságot*, az egyensúlyok fennállásának feltételeit vizsgálta. Vegyük észre, hogy ez a jelenségekör ugyan lényegesen szűkebb, mint a peripatetikusok által általában vizsgált fizikai jelenségek köre, de nyilvánvalóan beletartozik abba. Kutatásai tárgyának ezzel a kiválasztásával Arkhimédész képes volt az arisztotelészi értelemben vett fizikához és matematikához is tartozó problémát választani. Az arkhimédészi *statika*, a mozgás és nyugalom elvét magukban hordozó természetes dolgok *nyugalmanak* feltételeit tanulmányozva, nyilvánvalóan része lehetett az arisztotelészi fizikának – és mint a különféle, egyensúlyban lévő dolgokban kifejeződő, azokból elvonatkozatható és mennyiségi összefüggésekben megfogalmazható *állandóság*, megfeleltethető az arisztotelészi matematikai követelményeknek is. (Megjegyeznénk, hogy az arkhimédészi statika legtöbb eredménye a matematika *platonista* felfogását követve is elérhető lett volna. Ebben az esetben az arkhimédészi statikát fizikai objektumokra *alkalmazott matematikának* kellene tekintenünk. Mindazonáltal úgy tűnik Arkhimédész nem ezt az utat járta. Noha egyes történészek matematikusnak tartják, véleményünk szerint statikai kutatásai során valójában a matematika módszerét hasznosító fizikusi tevékenységet folytatott.)

Arkhimédész gondolkodói nagysága tehát mindenekelőtt abban a felismerésben nyilvánult meg, hogy elfogadva az uralkodó arisztotelészi tudományfelfogás matematikára és fizikára (természetfilozófiára vonatkozó megállapításait is, sikertelenül kiválasztania azt a jelenségekört,

¹¹⁰ Lásd pl. D. Ross: *Arisztotelész* (Osiris, Budapest, 1996), 94–95. o.

amelynek a leírása és értelmezése során *mindkét* tudományterület követelményrendszerének megfelelően. Az arkhimédészi sztatikát ilyenformán joggal tekinthetjük az arisztotelészi tudományrendszer keretei között létrejött *matematikai fizikának*.

Ezen a ponton felfigyelhetünk arra is, hogy kialakulását követően ezen a tudományterületen a peripatetikus fizika „elméleteitől” nagyon is különböző elméletek jönnek létre. A peripatetikus fizika (természet)filozófiai absztrakciókkal dolgozó elméleti leírásai mellett megjelenik a – természetfilozófiaiától eltérő – *matematikai* absztrakciókkal is dolgozó elméletek lehetősége.¹¹¹ Ezek alapján talán azt is mondhatjuk, hogy Arkhimédész a (természet)tudományos *elmélet felfedezője*, azé az elméleté, amelyik egyesíti magában a (természet)filozófiai és a matematikai elméletet, vagyis a minőségi és mennyiségi relációk egyidejű leírására képes, s egyszerre nyújt megértést és előrelátást is. A hellenisztikus korszakban ilyen elméletek megjelenését figyelhetjük meg a geometria, a harmónia-tan, a (geometriai) optika, a csillagászat és a matematikai földrajz esetében is. (Ugyanakkor a filozófiai elméletek helyett, illetve velük együtt alkalmazott matematikai elméletek persze nem feltétlenül kötődnek a fent jellemzett arisztotelészi matematika-felfogáshoz, hanem pl. platonisták is lehetnek. Ez esetben a tudományos elméletek működés módja és valósághoz való viszonya is más lesz.)

Arkhimédész fizikusi tevékenysége nem csak a matematika módszerének alkalmazásában, hanem abban a vonatkozásban is eltért a szokásos peripatetikus gyakorlattól, hogy kutatásaiban tudatosan alkalmazott mechanikai eljárásokat, mechanikai „modelleket”. Az Arkhimédész előtti görög kultúra a szemlélődő, elmélkedő magatartást tartotta inkább értékesnek, és lenézte a fáradságos fizikai munkavégzés különféle formáit, így pl. a kézműves tevékenységet, vagy az ilyenformán létrehozható dolgokat, eszközöket, szerkezeteket. Mindez azzal járt, hogy a gépezet-építés gyakorlata és elmélete, a mechanika alig fejlődött, s Eudoxosz (i. e. 408–355) és Arkhitasz (i. e. 427–347) korai próbálkozásait sokáig nem követték mások. Arkhimédész korában a negatív attitűd némileg már megváltozott, s a mechanika polgárjogot szerzett. Különösen igaz ez Szirakuza, Arkhimédész lakóhelye esetében, hiszen ez a város a korszak egyik technikai központja volt. Arkhimédész hadigépek építése mellett tudományos munkája során is hasznát látta mechanikai eszközök alkalmazásának. Talán érdekes volna kicsit részletesebben is megismerni Arkhimédész jellegzetes *kutatási módszerét*. Ő maga így írt erről egy Eratoszthenészhez küldött levelében:

„... leírom és elküldöm neked ... speciális módszeremet, amelynek segítségével képes leszel rá, hogy bizonyos matematikai problémákat a mechanika segítségével ismerj fel. Meg vagyok győződve róla, hogy ez nem kis haszonnal jár a tételek bizonyításánál. Néhány dolgot ugyanis, amely először mechanikai módszerrel vált világossá előttem, geometriailag is bebizonyítottam, mert vizsgálatuk a mondott módszerrel nem tekinthető tényleges bizonyításnak. Viszont könnyebb a

¹¹¹ Ezúttal nincs módunk a filozófiai és matematikai absztrakció (általánosítás és elvonatkoztatás) közötti viszony részletes jellemzésére. Mindössze arra hívjuk fel a figyelmet, hogy *a filozófiai absztrakció inkább minőségi, a matematikai pedig inkább mennyiségi jellegű* és a segítségükkel létrehozott elméletek is inkább efféle relációkat képesek kezelni, vagyis a filozófiai elméletek a minőségek közötti kapcsolatokat, a matematikaiak pedig a mennyiségi viszonyokat írják le. Egy mai *tudományos elmélet* jó esetben (az arkhimédészi sztatikához hasonlóan) egyszerre *mindkét* elméletet tartalmazza. Az elméletbe foglalt matematikai elmélet alapján számítások segítségével pl. *jóslatokat* lehet tenni, míg a bennefoglalt filozófiai elmélet alapján, az elmélet interpretálása (értelmezése) révén a kérdéses jelenségkör *megértését* érhetjük el.

bizonyítást szolgáltatni, ha a megadott módszer szerint előzetesen már némi ismereteink vannak a kérdéssel kapcsolatban, mint azt megtalálni minden előzetes tájékozódás nélkül ...”¹¹²

Látható, hogy Arkhimédész tudományos kutatási módszere sajátos formában kombinálja a mechanikai modellek és a geometriai bizonyítási eljárások alkalmazását. Figyeljük meg, hogy itt nem a kísérleti és elméleti módszerek egymást követő alkalmazásáról van szó, hanem inkább olyasmiről, amit ma modellezésnek mondanánk. A vizsgált szituációk „mechanikai módszerrel” való tanulmányozása a probléma „mechanikai bizonyítását” is szolgáltathatja, s így valamilyen mértékben megáll a maga lábán, annak ellenére, hogy az ilyen eredmények nem tekinthetők szigorú értelemben bizonyítottaknak. (Gyakorlati alkalmazások során viszont nagyon is hasznosak lehetnek.) A geometriai (vagy matematikai) módszert követve ismét bejárjuk az elméletépítés egész útját. Ezúttal a „mechanikai ismereteket” felhasználva könnyebb dolgunk van, így jobb eséllyel követhetjük a geometriában meghonosodott szigorú bizonyítási eljárásokat. Az eredményül kapott, megfelelően bizonyított matematikai tételek valamilyen mértékben szintén megállnak a maguk lábán. Talán érdemes kihangsúlyozni, hogy mindkét esetben ugyanazokról az ismeretekről van szó – ami eltér, az az ismeretek összefüggésrendszere, kontextusa. A kérdéses ismeretek matematikai módszerrel való bizonyítottasága gyakorlati szempontból majdnem lényegtelen, de az ilyen ismeretek tudományos értéke nyilván nagyobb. A mechanikai „modellek”-re vonatkozó ismeretek lehetővé teszik a tudásnak sok valóságos helyzetben való eredményes felhasználását. A tudományos elméletekben koncentrálódó bizonyított tudás pedig lehetővé teszi az *előrelátást* és a kérdéses probléma *megértését*. Arkhimédész élete során mindkét tevékenységet egyaránt gyakorolta: gépezetépítő mechanikus és matematikai fizikus volt egy személyben.

Tekintsük át röviden, hogy Arkhimédész milyen nevezetesebb eredményeket ért el módszerének alkalmazásával. Az „Úszó testekről” című munkájában a *hidrosztatika* problémáit tárgyalja. Magyarazatot ad a testek úszására s ennek során megfogalmazza híres elvét is a folyadékokba merülő testek „súlyvesztéséről”. A kérdéses hely egyik fordítása így hangzik:

„... VI. tétel. Ha a folyadékknál könnyebb szilárd testeket folyadékba merítjük, olyan erővel igyekeznek a felszínre, amely egyenlő azzal a súlytöbbslettel, amennyivel a testek térfogatával azonos térfogatú folyadék nehezebb ezeknél a testeknél ...

... VII. tétel. Ha a folyadékoknál nehezebb szilárd testeket folyadékba merítjük, azok egyre mélyebbre süllyednek, míg feneket nem érnek; ezek a testek a folyadék belsejében lévén, annyit vesztenek súlyukból, amennyit e testek térfogatával egyenlő térfogatú víz nyom ...”¹¹³

Arkhimédész a folyadékok természetére vonatkozó hipotézise alapján bizonyítja is ezeket az állításokat. (Bizonyításának rövid összefoglalását megtalálhatjuk pl. Kudrjavcev fentebb idézett könyvében.) Az „Úszó testekről” második könyvében Arkhimédész tárgyalja paraboloid alakzatok úszásának stabilitását is. Egy koszorú aranytartalmának meghatározásával kapcsolatos híres

¹¹² Simonyi korábban idézett könyve második kiadásának 77. oldalán található fordítás nyomán.

¹¹³ P. Sz. Kudrjavcev: *A fizika története – az antik fizikától Mengyelejevig* (Akadémiai, Budapest, 1951), 65. o. nyomán.

kísérlete¹¹⁴ arra mutat, hogy – legalábbis a gyakorlatban – képes volt az anyagi minőségre jellemző *fajsúly* fogalmának hatékony használatára is.

További fontos *statikai* eredményeit a „Síkok (vagy Síkidomú testek) egyensúlyáról” című műve tartalmazza. Itt főként az emelőkre vonatkozó – jórészt már korábban is ismert – szabályokat tárgyalja, de már a matematika módszerének igénybevételével. Így pl. ha a közepénél felfüggesztett rúd két oldalára helyezett súlyok hatásait vizsgáljuk, a következőket mondhatjuk:

„... posztulálom az alábbiakat:

1. Egyenlő súlyok egyenlő távolságra [a középponttól] egyensúlyban vannak, és egyenlő súlyok nem egyenlő távolságra [a középponttól] nincsenek egyensúlyban, hanem azon az oldalon hajlik le a kar, amelyiken a súly nagyobb távolságra van a középponttól.

2. Ha olyan súlyok közül az egyikhez, amelyek egyensúlyban vannak, hozzáadunk valamit, megbomlik az egyensúly, és azon az oldalon hajlik lejjebb a kar, amelyiken a hozzáadás történt

...

6. Ha adott tömegek bizonyos távolságokra [a középponttól] egyensúlyban vannak, más, velük egyenlő tömegek ugyanezekre a távolságokra [a középponttól] szintén egyensúlyban lesznek

...”¹¹⁵

Ilyenféle posztulátumok ismeretében Arkhimédész bizonyítja pl. a következő tételeket:

„... 1. tétel: Súlyok, amelyek a középponttól egyenlő távolságokra egyensúlyban tartják egymást, egyenlőek ...

2. tétel: Nem egyenlő súlyok egyenlő távolságokra a középponttól nem tartják egyensúlyban egymást, hanem azon az oldalon hajlik lejjebb a kar, amelyiken nagyobb a súly ...

3. tétel: Nem egyenlő súlyok nem egyenlő távolságokra a középponttól egyensúlyban tarthatják egymást, ha a nagyobb súly kisebb távolságra van a középponttól ...¹¹⁶

A fenti megfogalmazásokat összevetve elég világosan felismerhető a különbség: a posztulátumok a mechanikai modellek használatán alapuló tapasztalati szabályokat foglalják össze; az adott módon megfogalmazott tételek viszont már alkalmasak a szigorú matematikai bizonyításra is. A bizonyított tételekből összeálló statikai elmélete képes az emelőkre és az egyszerű gépekre vonatkozó legtöbb probléma értelmezésére és kvantitatív kezelésére is, így az arkhimédészi statikai teória tulajdonképpen az első (természet)tudományos elmélet. Ez természetesen a fentebb megemlített részletei mellett tartalmazott további fontos megállapításokat is, pl. a testek *súlypont*tjával kapcsolatban. Arkhimédész bizonyításainak, illetve további konkrét eredményeinek ismertetését ezúttal mellőzzük. További érdekes adalékokat találhatunk különféle könnyen

¹¹⁴ Lásd pl. Szabó Á., Kádár Z.: *Antik természettudomány*. 162–164. o.

¹¹⁵ Szabó Á., Kádár Z.: *Antik természettudomány*. 133. o.

¹¹⁶ Uo.

hozzáférhető tudománytörténeti munkákban, így pl. Kudrjavcev, Szabó Árpád és Simonyi Károly alapos áttekintést nyújtó könyveiben.¹¹⁷

Arkhimédésznek, a hellenisztikus korszak nagy tudósának eredményeit főként későbbi korok mechanikusai hasznosították. Módszertanával némileg rokon eljárásokat alkalmaztak egyes *csillagászati, geometriai, optikai és matematikai földrajzi* gondolatmenetekben. Ámbár mivel a matematika platonista felfogása az arisztotelészi felfogás ellenében egyre inkább teret nyert, ezért nem teljes egészében, hanem inkább csak a matematikai módszer alkalmazásának arkhimédészi gondolatát valahogyan elfogadó formában. Ugyanakkor a hellenisztikus *fizika* legnagyobb része, *az orvoslás, az állat és növénytan* egyértelműen Arisztotelész és Theophrasztosz hatása alatt fejlődött tovább, ezeken a területeken egyáltalán nem alkalmazták sem a platonista matematikát, sem az arkhimédészi módszertant.

4. A görög-római kor fizikai és kémiai ismeretei

A görög-római kor tudománya az i. e. 100–i. sz. 600 közötti korszakban elsősorban a korábban elért eredményeket alkalmazó, összefoglaló, kommentáló tudománynak látszik, ebben az időszakban kevesebb eredeti elgondolás jön létre. Másrészt hangsúlyozottabbá válik a tudományos ismeretek gyakorlati hasznosításának igénye is. A rómaiak gyakorlatias szemléletmódját talán jól illusztrálja a Julius Caesar által bevezetett naptárreform. Ennek során a csillagászat és a matematika konkrét gyakorlati alkalmazást nyert: a reformterveket alexandriai csillagászok készítették, a reform eredményeit viszont a birodalom egész közössége hasznosította. Semmi képpen se lehet azt mondani, hogy a római hódítók ellenségesen viselkednének a hellenisztikus tudományokkal kapcsolatban, sőt azt lehet látni, hogy pl. az alexandriai Múzeumot és Könyvtárat évszázadokig támogatásban részesítik, ami további fontos eredmények elérését teszi lehetővé, így pl. Hérón számos alkotását, Ptolemaiosz nagyszabású összefoglaló csillagászati munkáját, és sok matematikai felfedezést is (pl. trigonometria). A hellenisztikus kultúra erős pozícióira utal az is, hogy a Római Birodalomban kb. az i. sz. II. századig egyértelműen a görög volt a kultúra nyelve, a művelt ifjak pl. gyakran görög nevelőktől tanultak; a latin csak a II. századtól vált hasonló mértékben jelentőssé a kultúra területén. Sajátos módon a művelt rétegek kétnyelvűsége is hozzájárult a görög kultúra középkori eltűnéséhez, ugyanis csak kevés görög szöveget fordítottak le latinra, így a későbbiekben a latin kultúrára épülő középkori európai kultúra kénytelen volt nélkülözni számos fontos hellén gondolatot.

Mindazonáltal a tudomány fejlődése az i. sz. II. századtól lassulni látszik. Az új eredmények helyett inkább a korábbi eredmények összefoglalásai, magyarázatai kerülnek előtérbe, egyfajta „tudományos ismeretterjesztés” zajlik. (Szerencsés módon gyakran ezek a népszerű gyűjtemények, kézikönyvek őrizték meg egyébként elveszett antik műveket, műrészleteket.) Ebben a munkában különösen jelentős teljesítményt nyújtott a 74 művet létrehozó Marcus Terentius Varro (i. e. 116–27), és az idősebb Plinius (i. sz. 23–79), a 37 könyvből álló „Természetrész” alkotója, de bizonyos mértékben hasonló Lucretius Carus (i. e. 96–55) tevékenysége is a démokritoszi–epikuroszi világfelfogás verses összefoglalásával. A tudományos gondolkodás pozícióvesztésével párhuzamos folyamatban megfigyelhető számos mágikus, misztikus tanítás térnyerése is, így pl. a neopüthagoreizmus és a hermetizmus felemelkedése, az alkimista

¹¹⁷ P. Sz. Kudrjavcev: *A fizika története – az antik fizikától Mengyelejevig* (Akadémiai, Budapest, 1951); Szabó Á., Kádár Z.: *Antik természettudomány* (Gondolat, Budapest, 1984); Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete* (Gondolat, Budapest, 1978, 1981, stb.).

eszmrendszer megjelenése és terjedése. Másrészt a kialakuló keresztény világkép számos vonatkozásban – pl. a Biblia szó szerinti értelmezését követve – szembekerül a tudományos felfogással, s a kereszténység társadalmi helyzetének megerősödése a tudományos gondolkodást hátrányos helyzetbe hozza. Némileg más a helyzet Keleten. Bizánc továbbra is őrzi és reprodukálja a görög kultúra sok elemét, így pl. az arisztotelészi fizikát is.

A továbbiakban röviden áttekintjük e korszak fizikai és kémiai gondolkodásának fontosabb összetevőit. Mindenekelőtt az alexandriai fizika fejleményeit idézzük fel, majd a késő antik Arisztotelész kommentátorok nézeteit ismertetjük, végül az e korszakban megjelenő alkímia kialakulásának a körülményeit szeretnénk bemutatni. A témák rövid tárgyalását talán az is indokolja, hogy a tudományos gondolkodás fejlődését tekintve ezeknek a problémáknak a jelentősége némileg korlátozott.

a) Fizika Alexandriában: mechanika, pneumatika, optika

Az alexandriai fizika legjelentősebb képviselőjének – annak ellenére, hogy Szirakuzában élt és dolgozott –, Arkhimédész tekinthetjük. Mindazonáltal azokat a további jelentős teljesítményeket, fontos eredményeket is érdemes felidézni, amelyek részben az ő munkásságának a hatására, részben azoktól lényegében függetlenül jöttek létre. Úgy tűnik, hogy az első csoportba sorolhatjuk a mechanikusok tevékenységét, akik a gépek építésének elveivel és gyakorlatával, valamint a vákuum, illetve a légnyomás természetének tanulmányozásával és gyakorlati felhasználhatóságával foglalkoztak, míg a második csoportba a fény természetével és az optikai jelenségek értelmezésével kapcsolatos eredmények tartoznak.

A *mechanikusok* legjelentősebb alakja alexandriai Hérón (I. sz. vége–II. sz. közepe), akinek számos munkája fennmaradt, így pl. a „Mechanika” amelyik a gépek építésével és általánosabb statikai és dinamikai kérdésekkel is foglalkozik, valamint a levegő és a légnyomás jelenségeinek tanulmányozásával foglalkozó híres „Pneumatiká”-ja. Mechanikai és pneumatikai munkásságában valószínűleg felhasználta az alexandriai Ktészipiosz (i. e. III. század) – akit pl. az orgona létrehozójának tartanak – és a bizánci Philón (i. e. III–II. század) – „A mechanika szisztematikus tárgyalása” című mű szerzője – eredményeit is. Hérón „Mechanika” című munkája tárgyalja az öt egyszerű gép működését, kimutatva pl. azt is, hogy ezek segítségével adott erővel el tudunk ugyan mozdtítani egy adott súlyt, de minél kisebb erőt alkalmazunk, annál tovább kell kifejtenünk ezt az erőt, a kívánt elmozdulás elérése érdekében.

Gyakorlati szempontból jelentős a „meghajlított emelőre” vonatkozó elve, és bizonyos *súrlódásos* mozgások természetének leírása is.

Talán ezen a ponton érdemes felvetni a kérdést, hogy vajon a mechanikusok tevékenysége milyen mértékben kapcsolódik a fizikához, s nem technikai jellegű-e inkább, s így nem a mérnöki tudományokhoz tartozó-e? Ebből a szempontból tanulságos felidézni az alexandriai Papposz (i. sz. III. század) véleményét, aki „Matematikai gyűjtemény” című művében a következőket írja:

„... A mechanika tudománya nemcsak hasznos sok fontos gyakorlati vállalkozás szempontjából, hanem ... foglalkozik a természet titkaival és az anyag elemi összetételével a kozmoszban. Vizsgálja a testeket nyugalmi helyzetükben, természetes törekvésükben, és egyáltalán helyváltoztatásukban. Nemcsak a mozgás okait deríti ki, hanem eszközöket is konstruál, amelyekkel eléri, hogy a testek természetük ellenére megváltoztassák helyzetüket, azaz: elhagyják természetes

helyüket. Ebben a törekvésében a mechanika tudománya olyan elméletekre épít, amelyeket az anyag vizsgálatából vont el.”¹¹⁸

Érdekesnek tűnik megemlíteni, hogy a mechanikának nevet adó ógörög „mékhané” szó jelentése: furfangos szerkezet, agyafúrt mesterkedés, kijátszás. A mechanikán belül további tagozódást regisztrálhatunk:

„... A Hérón iskolájához tartozó mechanikusok azt tanítják, hogy ez a tudomány elméleti és gyakorlati részből áll. Az elméleti rész magában foglalja a geometriát, aritmetikát, asztronómiát, és fizikát; a gyakorlati rész viszont olyan ágakra oszlik, mint: fémmegmunkálás, építészet, ácsmesterség, festés, valamint azok a kézműves tevékenységek, amelyek ezekkel a mesterségekkel kapcsolatosak.”¹¹⁹

Az idézett helyen Papposz felsorolja a gyakorlat szempontjából legfontosabb mechanikusi tevékenységeket is: a gépek segítségével nagy súlyokat mozgatni képes manganariusok munkáját, a hadigépek építését, a vízemelő szerkezetek létrehozását, ámulatba ejtő automatikus szerkezetek előállítását, és a planetáriumkészítést.

Ha ezeket a megállapításokat összehasonlítjuk a fentebb tárgyalt párszáz évvel korábbi arkhimédészi metodológiai eljárással, világosan látszik az értékek jelentős átrendeződése. Arkhimédész ugyan használt már mechanikai modelleket, és épített számos mechanikai szerkezetet is, de úgy tűnik, hogy az ő szeme előtt elsősorban a tudományos eredmény, a természet szükségszerű összefüggéseinek felismerése, *a természet megértése* lebegett, míg a mechanikusok számára a hasznosítható tudás, a tudományos ismeretekre alapozott valamilyen mértékű *természet feletti uralom* is cél. A késő antik világ igényeit már nem a természet titkai által rabul ejtett gondolkodók, hanem inkább a gyakorlati feladatok megoldásával foglalatoskodó mechanikusok elégítik ki. Ha az ógörög kultúrát a tudás iránti elkötelezettséggel jellemezzük, akkor a római kultúrát kétségtelenül inkább a technológia iránti elkötelezettség jellemzi. A görög-római kultúra maradandó teljesítményeinek eléréséhez nyilvánvalóan nagymértékben hozzájárultak a mechanikusok haditechnikai, építő-, és vízemelőgépei is.

A Papposz által jellemzett mechanika természetesen nem azonos az antik fizikával, és nem is valamilyen része annak, de nem tekinthető pusztán antik „mérnöki” tudománynak sem. Inkább a fizika egyik *szemléletmódjának* mondanánk, amelyiknek a kialakításában fontos szerepet kaptak a „mérnöki tevékenységet” előnyben részesítő konkrét társadalmi igények és körülmények. A késő antik mechanika tehát inkább az a fajta természetfilozófia, amit „mechanisztikus világ-felfogás”-nak is nevezhetnénk, s ami valamivel szélesebb területet fog át, mint mondjuk az arisztotelészi természetfilozófia, a peripatetikus fizika. A „mechanikusok” szemléletmódja leginkább a XVII. századi „mechanisztikus” szemléletmóddal rokon. Ráadásul a tudósok célja mindkét esetben hasonló jellegű társadalmi szükségletek kielégítése, ahogyan azt majd könyvünk későbbi fejezeteiben látni fogjuk.

A *pneumatika* problémái jelentős részben megegyeznek a mechanika problémáival, azzal a kiegészítéssel, hogy ezekben a szituációkban a légnyomás, illetve a vákuum természetét és hatásait aknázzák ki a gépezetek létrehozása során. Közkeletű felfogás szerint Hérón létrehozta volna a gőzgép őst, híres eszközével, ami lényegében egy – a kiáramló gőz által forgatott – gömb.

¹¹⁸ Szabó Á., Kádár Z.: *Antik természettudomány* (Gondolat, Budapest, 1984), 150. o.

¹¹⁹ Uo.

Ez sajnos tévedés: ez a szerkezet érdekes ugyan, ám működés módja semmiféle elvi hasonlóságot nem mutat a későbbi gőzgépekével. Ennél lényegesen érdekesebbek azok a megfigyelések és kísérletek, amelyek a természet „vákuumtól való irtózását” demonstrálták. A lopó (klepszidra) működésének mindennapos tapasztalata, vagy Philón kísérlete, mely szerint a némileg vízbe merülő tartályban elégetett gyertya által „szétrombolt” levegő helyére víz nyomul, egyaránt a vákuum természetes körülmények közötti lehetetlensége melletti súlyos érvek.

A *fény természetével* kapcsolatos antik (természetfilozófiai) vélemények lényegében két jellegzetes csoportba sorolhatók. Egyik nézet szerint a fény valamiféle anyagáramlás, ami a testekről visszaverődve és a szemünkbe jutva láthatóvá teszi a testeket,¹²⁰ míg mások véleménye szerint a szemünk által kibocsátott „látósugarakról” van szó, ezek verődnek vissza a látott testekről s teszik őket számunkra láthatóvá. Mindkét nézet képviselői hangsúlyozzák a fény gyors (esetleg végtelen) terjedési sebességét és egyenes vonalú terjedését.

Több antik szerző is hozzájárult az ismert *optikai jelenségek* leírásához, a fényterjedés, a törés, a visszaverődés és a tükröződés értelmezéséhez. A legnevezetesebb művek: alexandriai Eukleidész (i. e. 365–300): „Optika”, Hérón: „Katoptrika” (tükrözés tan), Ptolemaiosz (83–161): „Optika”. Ezeket a műveket ma valószínűleg a geometriai optikához tartozónak mondanánk (egyész szerzők szerint ténylegesen a geometria egyik részéről van szó), hiszen a „látósugarakra” vonatkozó geometriai tárgyalást nyújtják, az ott kialakított eljárásokat és metodológiát is követve, geometriai szerkesztéseket bemutatva, posztulátumokat és bizonyított tételeket, megoldandó feladatokat sorakoztatva egymás után. Elsősorban a síktükrök képalkotását értelmezik, de foglalkoznak a virtuális kép, a perspektíva problémáival és a levegő-víz határfelület törési szögeinek meghatározásával is. A késő antik optika pozíciója és funkciói erősen emlékeztetnek a mechanikáéra: kifinomult matematikai elmélet használat és különféle gyakorlati eszközök építésének az együttes igénye érvényesül itt is. Hérón „Dioptra” című munkájában ismerteti pl. egy gyakran használt, szög mérésen alapuló irány- és szint mérő eszköz működését is.

b) Késő antik Arisztotelész kommentárok

Ha korábban azt mondtuk, hogy a késő antik korban a „mechanikusok” szemlélet módja bizonyos értelemben és valamilyen mértékben az arisztotelészi természetfilozófia korábbi meghatározó szerepére tarthatott igényt, akkor talán érdemes még néhány további megjegyzéssel árnyalni a természetfilozófia korabeli helyzetét.

A II. század végére a korábban elterjedt természetfilozófiai nézetek közül az epikureizmus és sztoicizmus lényegesen visszaszorult, s alaposan meggyengültek az arisztotelianizmus pozíciói is. A politikai és ideológiai változások a platonizmus feléledésének kedveztek, s a III. századtól, az újplatonizmus (neoplatonizmus) kialakulásától a VI. századig egyértelműen ez az uralkodó filozófia a görög-római világban. Képviselői megpróbálják egységesíteni Platón és Arisztotelész felfogását, platonista alapon kihangsúlyozva a nézeteikben megtalálható hasonlóságokat. Álláspontjuk jelentős mértékben meghatározta a *kereszténység* kialakulófélben lévő filozófiáját. Természetfilozófiai szempontból érdekesek lehetnek az alexandriai „zsidó” Philón (i. e. 25–50), az ugyanott tevékenykedő Kelemen (150–211), Órigenész (185–254), Plótinosz (204–270) és – a valamennyiük közül talán leghíresebb filozófus – Augustinus (354–430) gondolatai. Az ő munkásságukból ezúttal talán elsősorban az emelhető ki, hogy Isten és a természet viszonyának tanulmányozását tartották alapvetőnek, amely álláspont persze egyaránt ellentétes volt az

¹²⁰ Ilyesfélet állít pl. Empedoklész és Démokritosz.

arisztotelianus tradícióval és a mechanikusok világfelfogásával is. Mindazonáltal a kereszténység felemelkedésével egyre inkább ez a gondolkodásmód jutott vezető szerephez, s a korábbi arisztotelészi természetfilozófia (és az azzal párhuzamosan fejlődésnek induló antik mechanisztikus világkép) helyét egyes arisztotelészi nézetek fokozatosan átértelmezett neoplatonista változatai vették át. A tulajdonképpeni arisztotelészi természetfilozófiára Nyugaton párszáz évig kevés figyelmet fordítottak, így az Európa nyugati részein lényegében ismeretlenné vált, de a Bizánci Birodalomban, ahol a görög forrásokot még értették, olvasták és ápolták, némileg más volt a helyzet. Ott érdekes módon kommentálták, sőt kritizálták az autentikus arisztotelészi tanításokat.

Három jelentős kommentátort érdemes megemlíteni, aphrodisziaszi Alexandroszt (III. század), az Alexandriában született Ioannész Philoponoszt (VI. század) és a valamivel fiatalabb, Athénben és Perzsiában is megfordult Szimplikioszt (VI. század) ¹²¹ Alexandrosz kommentárjaiban az arisztotelészi tanokat védelmezte a platonizmussal szemben, de Philoponosz már sokkal kritikusabb kommentátor volt. A súlyos testek természetes mozgását (mechanikai nyelven szólva a szabadesést) tanulmányozta s egyrészt azt hangsúlyozta, hogy a súlyosabb test akkor is nagyobb sebességgel esik, ha van vákuum, s akkor is, ha nincs, hiszen valójában a test *saját* súlyának van jelentősége. Ugyanezért nem helyes (a *horror vacui* elv érvényesülése miatt bekövetkező) a testet mozgató levegő – szerinte egyébként is megalapozatlanul feltételezett – hatásával se számolni, hiszen az a hatás legfeljebb minimális lehetne. (A *horror vacui* elv lényegében egy peripatetikus dinamikai elv. A peripatetikus magyarázatok szerint ugyanis a levegőben mozgó testre nyilván folyamatosan erőnek kell hatnia, különben megszűnne a mozgása. Ezt egyes gondolkodók úgy látták lehetségesnek, hogy a mozgó test által széthasított levegő a test mögött ismét összezsapódik és ez a hatás löki folyamatosan előre a levegőben mozgó testet. A széthasított levegő ismételt összezsapódásának oka a *horror vacui*, a természet ürességtől való félelmét deklaráló elv. Az elv különféle változatait egészen a XVII. századig alkalmazták tudományos magyarázatokban.)

Szimplikiosz lényegében egyetértett az arisztotelészi álláspontokkal, bár felhasználva Sztratón korábbi megfigyeléseit és azok értelmezését is, arra a következtetésre jutott, hogy a súlyos természetes testek – Arisztotelész erre vonatkozó nézeteivel szemben – valójában *gyorsuló* mozgást végeznek. Az arisztotelészi fizikához írt kommentárjai Zénón apóriáinak is fontos lelőhelyei.

c) Kémiai ismeretek és az alkímia kezdetei

Az ősi kultúrák (különösen az egyiptomi) gazdasági és kulturális tevékenységük során sok olyan technológiai eljárást fejlesztettek ki és használtak rendszeresen, amelyekben a későbbiekben kémiai nevezett ismeretek sokasága játszott szerepet. Egyértelműen megállapítható, hogy már a görög tudományosság megjelenése előtt elterjedtek voltak az olyan tűzhasználaton alapuló technológiák, mint a sütés-főzés, a fazekasság, a fémkohászat, illetve a kovácsolás egyes technikái, mindenképp a termésmérek felhasználása, majd az ércfeldolgozás révén réz, bronz, vas, sőt acél előállítás, egyes üvegipari eljárások, később az üvegfúvás is, vagy pl. a mész-, és gipszégetés. Széles körben gyakorolták a textilfestés eljárásait és az ehhez szükséges színezékek előállítását. Jól ismert volt a sör és bor előállításának módja, és rendszeresen használtak különféle

¹²¹ Részletes ismertetést találunk pl. a következő könyvben: S. Sambursky: *The Physical World of Late Antiquity* (Routledge, London, 1962).

gyógyhatású szereket és balzsamokat is. Ismert és tanulmányozott anyagok voltak az arany, az ezüst, a réz, a szén, a kén, az ólom, az antimon, az ón, a vas és a higany.¹²²

A görög-római fejlődés olyan további adalékokkal járult hozzá a kémiai ismeretekhez, amelyek a fejlett kerámiáiparból származtak, illetve egyes fémötvözetek (pl. a sárgaréz), a cement, vagy a szappan előállítás technológiáiból eredtek.

Figyelemre méltó, hogy a fentebb említett, különféle anyagokra és technológiákra vonatkozó ismeretek az antik kultúrákban nem alkottak valamiféle egységes ismeretrendszert, semmiképpen sem lehet tehát antik anyagtudományról, vagy kémiáról beszélni. Általában persze az efféle technológiai tapasztalatokat is figyelembe vették az egyes korok uralkodó természet-filozófiái, mindenekelőtt Démokritosz, Platón és Arisztotelész anyagszerkezeti elgondolásai, s így ezek az ismeretek is *részei* voltak a korabeli tudományos ismeretrendszernek: az anyagok tulajdonságait, a testek minőségi különbségeit, valamint mindezek változásait és átalakulási folyamatait értelmező magyarázatok a korabeli fizika (természetfilozófia) részét alkották. Mivel ezekről a teóriákról az egyes fizikai felfogások ismertetése során fentebb már volt szó, itt csak két – a legtöbb antik fizikai elgondolásban közös – problémakörre szeretnénk röviden visszautalni: az elemekre és az átalakulásokra vonatkozó gondolatokra.

A görög gondolkodók legtöbbje elfogadta a *négy elem*ről szóló tan valamilyen változatát. Empedoklész (i. e. 495–435), akit egyesek e tan létrehozójának tartanak, például egész filozófiai rendszerét a négy egymásra visszavezethetetlen, változatlan, örök elem (tűz, víz, föld és levegő) segítségével építette fel. Más filozófusok is felhasználták ezt a tanítást, de rendszerint tovább analizálták, további „elemekre” bontották a „négy elemet”. Démokritosz különféle alakú atomokból és ürességből, Platón az elemi ideáknak tekintett „háromszögek”-ből építette fel a négy elemet, Arisztotelész pedig az anyagi szubsztrátumon működő elemi minőségek segítségével hozta létre őket. Talán már ezek alapján is látható, hogy a görögök általában elfogadták a létezők strukturáltságának, összetettségének gondolatát, a testek, illetve azok összetevőinek elemibb összetevőkre való felbontása, illetve ilyenekből való felépíttessége elvét. Ugyanakkor az elemiség kritériumai és szintjei számukra filozófiai, elvi jellegű kérdések voltak, s filozófiai értékrendjüknek megfelelően döntöttek róluk; ilyenformán a különféle természetfilozófiákban természetesen különböző (filozófiai) anyagelméleteket találhatunk.

A négy elemet igénybe vevő anyagszerkezeti álláspontok népszerűségéhez bizonyára hozzájárult az is, hogy ezeknek az elemeknek jól azonosítható, szemléletes és érzékileg könnyedén feltáruló tulajdonságaik vannak. Minden elemekről szóló elgondolásnak nyilvánvalóan gondot okoz ugyanis a választott *elemek tulajdonságai* és az ezekből *az elemekből felépített objektumok tulajdonságai* közötti kapcsolat elfogadható színvonalú levezetése. A különféle anyagok és testek tulajdonságainak a négy elem tulajdonságaiból való levezetése jól megfogalmazható és széles körben érdemben megvitatható problémakört jelentett. Ez alkalmat adott a nézetek kritikájára és továbbfejlesztésére, s az egész kérdéskörrel jó eséllyel kialakulhatott valamiféle konszenzus is. A négy elem további összetevőkre való felbontása, s az ebből eredő további magyarázatok igénye már inkább valamiféle speciálisabb értékrenden, egyéni világfelfogáson és tapasztalatokon alapulhat.

A korabeli fizikai (természetfilozófiai) elméletekben megtalálhatjuk a testek (és anyagok) tulajdonságainak (pl. minőségének, színének, szilárdságának, hőmérsékletének) változásait

¹²² Lásd pl.: J. D. Bernal: *Tudomány és történelem* (Gondolat, Budapest, 1963); Balázs L.: *A kémia története* (Gondolat, Budapest, 1974).

értelmező gondolatmeneteket is. A *tulajdonságváltozások* legegyszerűbben a testet alkotó – saját természetüket tekintve változatlan minőségű – elemi összetevők testbeli *arányainak* megváltozásával magyarázhatók. Ekkor az a kérdés merülhet fel, hogy az elemi összetevők tulajdonságai változatlan formában épülnek-e be a keverékeikből létrejövő testekbe, vagy pedig minőségileg új tulajdonságok is létrejöhetnek ebben a folyamatban? Az első alternatívát ma inkább a *keveredés* fizikai folyamatának mondanánk, a második esetet pedig inkább a *vegyülés* kémiai folyamatával azonosíthatjuk. Számos antik szerző próbálkozik ezeknek a jellemző átalakulásfajtáknak a megkülönböztetésével.

Úgy tűnik, hogy a görög gondolkodók legtöbbje a testek, anyagok és tulajdonságaik átalakulásainak értelmezése során alkalmazott valamiféle naiv „megmaradási elvet” is. Vagyis a természetben *átalakulásokról* van szó, és nem pusztán keletkezésről, hiszen minden keletkezés valami más pusztulásával jár együtt és viszont; „semiből nem lesz semmi”.¹²³ (A görögök nem szimpatizáltak a semiből való isteni teremtés gondolatával sem.)

Igaz ugyan, hogy a fentebb felidézett ókori technológiai ismeretekből nem állítottak össze valamiféle önálló tudományos vagy filozófiai rendszert, de ezeknek az ismereteknek jelentős részét felhasználva jött létre ebben a korszakban egy sajátos tevékenységforma és világszemlélet, az *alkímia*. Az alkímia természetesen sokféle formát öltött, sokféle törekvést hordozott az I. századi kezdetektől egészen a XVIII. századig húzódó története során. Úgy tűnik, hogy kezdeti – egyiptominak, hellénnek, vagy alexandriainak is nevezett – fejlődési szakaszában három különböző természetű összetevőt egyesít magában: egyiptomi technológiai ismereteket, bizonyos antik (arisztotelianus, szofista, platonista) természetfilozófiai eszméket és ősi keleti, misztikus vallási tanításokat.

Maga a (későbbi évszázadok során kapott) alkímia név is az egyiptomi eredetre vall: az arab *al kimiya* kifejezés egyaránt utal a görög *khuma* („fémek fúziója” jelentésű) és az egyiptomi *chemi* (jelentése: fekete) illetve a hellén „*kémia*” szóra. (Utóbbival a görögök Egyiptomra – fekete föld – és az alkímisták egyik kedvenc anyagára, a „fekete ólomra”, is utalhattak.)¹²⁴

Különösen bizonyos egyiptomi fémmegmunkálási technikák játszottak fontos szerepet az alkímia kialakulásában. Egyiptomi kézművesek, valószínűleg vallási szertartások számára, rendszeresen előállítottak színezett, díszített, ezüstözött fém-, kő- és szövettárgyakat. Úgy tűnik, hogy ezekkel rokon eljárásokról tudósítanak a Leydenben, illetve Stockholmban őrzött korabeli papirusztekercsek. Ezek a technológiai receptek nem tartalmaznak misztikus utalásokat, illetve értelmezéseket. Más források szerint valószínűsíthető asszír, illetve kínai technológiai ismeretek korabeli jelenléte is.¹²⁵ Az anyagmegmunkáló technikák fejlettsége megfelelő *gyakorlati ismereteket* biztosított az alkímia számára.

Az arisztotelészi anyagszerkezeti elképzelések, mindeneke előtt a „Meteorológiá”-ban kifejtett formájukban, lehetővé tették az alkímisták számára, hogy a fémek tulajdonságainak megváltoztatása révén a fémek minőségének megváltozását is elérjék, vagyis szándékaik szerint átalakítsák azokat, pl. arannyá. (Ahogy korábban már láttuk, az arisztotelészi elgondolás alapja az anyagi szubsztrátumot megragadó ellentétes elemi minőségek küzdelme. Ez a folyamatos

¹²³ Lásd pl.: Balázs L., Hronszky I., Sain M.: *Kémia történeti ABC* (Tankönyvkiadó, Budapest, 1981).

¹²⁴ R. Taton (ed.): *History of Science. Ancient and Medieval Science from the Beginnings to 1450* (Basic Books, New York, 1963), 336. o.

¹²⁵ Lásd az előző jegyzetet, illetve: J. D. Bernal: *A fizika fejlődése Einsteinig* (Gondolat-Kossuth, Budapest, 1977), 115. o.

küzdelem azzal jár, hogy pl. az elemek átalakulnak egymásba. Ilyenformán, ha az alkímista elég ügyesen alkalmazza a minőségváltató technikákat, elérheti célját.) Az arisztotelészi természetfilozófia bizonyos elveinek elfogadása tehát elvileg *lehetővé teszi* az alkímisták gyakorlatát.

Mindazonáltal a hellén alkímia leglényegesebb összetevője, meghatározó tényezője, az elvi lehetőségek megvalósítására serkentő ösztönzése a sajátos *misztikus tanításokban* van. Ezek az elgondolások a korabeli hermetista, sztoikus, gnosztikus, neopüthagoreus, és neoplatonista tanítások elemeiből összeállított, különféle vallási elemekkel átszótt nézetrendszerek. Az alapelveket és a legfontosabb műveket, a legmélyebb összefüggésekre rávilágító tanokat rendszerint valamilyen istentől, vagy isteni személytől, különlegesen tisztelt tekintélytől származtatják: Isistől, Hermésztől, Mózesztől, Kleopátrától, Démokritosztól.

A hermetizmus például a Hermész Triszmegisztoosz nevű istenségnek tulajdonított művekben kifejtett misztikus tanításokon alapszik, ezeket gyűjti össze a II. században keletkezett Corpus Hermeticum. A hermetista tanok sok közös vonást tartalmaznak az újplatonista és sztoikus világgéppel is, de alapvető szerepet tulajdonítanak valamiféle szükségképpen titkos tudásnak, amit legfeljebb intuitív úton lehet felfogni. A tulajdonképpeni igazság a kimondhatatlan, – minél mélyebb igazságról van szó, annál inkább az – s a gondolkodónak az a feladata, hogy megjelje a lét, a régi tanítások, könyvek, isteni kinyilatkoztatások *rejtett üzenetének megfejtéséhez* a megfelelő kulcsokat.

A tulajdonképpeni alkímista munkák között híressé vált Pszeudó-Démokritosz¹²⁶ (I.–II. század) „Fizika és misztika” című műve, amelyekben talán elsőként próbálta kombinálni a technológiai, természetfilozófiai és misztikus tanokat. A leghíresebb hellén alkímista az Alexandriában tevékenykedő panopoliszi Zószimosz (V. század) volt, aki könyveiben összefoglalta az alkímia addig elért eredményeit is. A legtöbb hellén alkímista mű Berthelot (1827–1907), a híres francia kémikus sikeres kutatómunkájának köszönhetően vált hozzáférhetővé.

Az alkímista tevékenységek céljai közé tartozott az ún. alapvető fémek (réz, vas, ólom, ón) arannyá vagy ezüstté alakítása, vagy például az egészséget és örök fiatalságot biztosító „életelixír” előállítás. Ezeket elősegítendő megpróbálták felhasználni a reményeik szerint létrehozható „bölcsök kövét”, valamint különféle rituális gyakorlatokat és ceremóniákat, titkos beavatásokat, személyes erőfeszítéseket és varázslásokat. Az alkímista művek rejtett szimbolikájukkal, ezoterikus stílusukkal gyakran maguk is megfejtendő titkokként álltak olvasóik és követőik előtt. (Az alkímista tevékenységek valamivel részletesebb leírását megtalálhatjuk könyvünk egy későbbi fejezetében.)

A hellén alkímia leginkább talán valamiféle különös valláshoz hasonlítható, amelynek azonban számos sajátos, az alkímista személyiségének fejlesztését, valamint a tudomány és technika fejlődését egyaránt elősegítő következménye is volt. Az alkímisták nagymértékben fejlesztették a bepárlás, oldás, desztillálás, és kristályosítás technikáit, és számos új laboratóriumi eszközt is előállítottak. Ezekben a fejlesztésekben élenjárt a III. században élt „zsidó” Mária.

¹²⁶ A „pszeudó” kifejezés arra utal, hogy a kérdéses mű valódi szerzője nem ismert, mivel munkáját más, tekintélyesebb szerző (ezúttal Démokritosz) neve alatt publikálta.

F) Összegzés

Ropolyi László

Az antik tudomány ezeréves fejlődését áttekintve megállapíthatjuk, hogy a görögök sajátos társadalmi és politikai rendszereinek s ezek változásainak következtében a görögség képes volt megtalálni, megőrizni, lényegesen továbbfejleszteni, átörökíteni és széles körben elterjeszteni a – korábban főként Egyiptomban és Mezopotámiában felhalmozódott – évezredes tudást. A görög viszonyok között kialakulhattak az összes ismeretet magukba foglaló filozófiai rendszerek, majd a filozófiáról leváltak a filozófiától eltérő célokat követő, más módszereket is alkalmazó tudásszférák, az ún. szaktudományok is. Létrejött az a gondolkodásmód és tevékenységforma, amit azóta is tudománynak nevezünk. A görög tudomány kiemelkedő teljesítményei, a matematika (mindenekelőtt a geometria) és a csillagászat számos későbbi évszázad során a tudományosság mintaképeként szolgálhattak, sok eredményük napjainkban is velünk van. A görögök fizikai, az állat és növényvilágra vonatkozó és orvosi ismeretei főként természetfilozófiai keretek között fejlődtek s álltak össze sajátos, összetett, harmonikus rendet tükröző világképekké. A görögök világképe a környezetével való tevékeny összhangra törekvő aktív embert mutat, aki egy mozgásban lévő, ugyancsak aktív természeti és társadalmi környezetben él. A görög ember inkább szemléli és értelmezi, mint használja környezetét. Mindemmellett alkalmoszerűen megjelenik a tudományos ismeretek hasznosításának igénye is, eredményeik főként a hadi technikákban, építő- és teherszállító eszközök és gépek létrehozásában hasznosulnak. Létrejön a tudományos tevékenységet lehetővé tevő infrastruktúra sok eleme: iskolák, könyvtárak és tudományos kutatóintézetek működnek évszázadokon át. A tudománnyal való foglalatosság metodológiai is fejlődésnek indulnak: létrejönnek a tudósok, illetve a tudományos művek kifejlődését és fennmaradását lehetővé tevő viszonyok, híres tudósok és művek születnek, kivételesen nagy egyéniségek alakulnak ki. A görög tudomány fejlődése a II. századtól lelassul, majd a VI. század körül véget is ér. A kedvezőtlen társadalmi viszonyok miatt sok tudós Perzsiába, illetve más vidékekre költözik. Lényegében velük megy a tudás is, hogy majd évszázadok múltán, arab tudósok ismét visszahozzák Európába.

Irodalom

- ARISTOTELES. *Metafizika* (Halasy Nagy József fordítása, 1936). Hatágú Síp, Budapest. 1992.
- ARISTOTLE. *The Physics with an English Translation by P. H. Wicksteed and F. M. Cornford, I–II. vols.* Harvard University Press, Cambridge, és Heinemann, London. 1957.
- BALÁZS, L. *A kémia története*. Gondolat, Budapest. 1974.
- BENEDEK, István. *A tudás útja (Negyedik, bővített kiadás)*. Magyar Könyvklub, Budapest. 1994.
- BENEDEK, István. *Hügieia. Az európai orvostudomány története*. Gondolat, Budapest. 1990.
- BERNAL, J. D. *Tudomány és történelem*. Gondolat, Budapest. 1963.
- BIRTALAN, Győző. *Általános orvostörténelem (Egyetemi jegyzet)*. SOTE, Budapest. 1979.
- BOECKH, A. *Untersuchungen über das kosmische System des Platons*. Berlin. 1852.
- BRITTON, J. P. *Models and Precision: the Quality of Ptolemy's Observations and Parameters*. Gerland, New York. 1992.
- BURNET, J. *Early Greek Philosophy (4th ed.)*. London. 1930.
- BYNUM, W. F., BROWNE, E. J., és PORTER, R. (eds). *Dictionary of the History of Science*. Macmillan, London. 1982.
- CLAGETT, M. *Greek Science in Antiquity*. Abelard-Schumann, New York. 1955.

- COHEN, M. R. és DRABKIN, I. E. *A Source Book in Greek Science*. Harvard U. P. Cambridge, Mass. 1958.
- DICKS, D. R. *Early Greek Astronomy to Aristotle*. Thames and Hudson. 1970.
- DREYER, J. L. E. *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. Dover Publication. 1953.
- DUHEM, P. *To Save the Phenomena: An Essay on the Idea of Physical Theory from Plato to Galileo*. Chicago. 1969.
- EUKLEIDÉSZ. *Elemek*. Gondolat, Budapest. 1983.
- EVANS, J. On the Origin of the Ptolemaic Star Catalogue 1–2. *Journ. for the Hist. of Astronomy* 18, Part 2. 1987.
- FARRINGTON, B. *Tudomány az ókorban*. Szikra, Budapest. 1949.
- FÜLÖP, Zs. *A bölcsek köve*. Műszaki, Budapest. 1957.
- GOLDSTEIN, B. R. Saving the Phenomenon. *Journ. for the Hist. of Astronomy* 28, Part 4. 1997.
- HALL, A. R. és HALL, M. B. *A Brief History of Science*. Iowa State U. P., Ames. 1988.
- HEATH, T. L. *Aristarchus of Samos*. Oxford. 1913.
- HEATH, T. L. *Greek Astronomy*. Dover, New York. 1991.
- KAMPIS, Gy., RÉDEI, M., ROPOLYI, L., SZEGEDI, P., SZÉKELY, L., SZIGETI, A., SZILÁGYI, L., VINKOVICS, M., és ZÁGONI, M. *Előadások a természetfilozófia történetéből (Egyetemi jegyzet)*. ELTE TTK, Budapest. 1997.
- KIRK, G. S., RAVEN, J. E., és SCHOFIELD, M. *A preszókratikus filozófusok*. Atlantisz, Budapest. 1998.
- KNORR, W. R. Plato and Eudoxus on the Planetary Motions. *The Journ. for the Hist. of Astronomy* 21, Part 4. 1990.
- von KUNITZSCH, P. (Hrsg.). *Der Sternkatalog des Almagest: die arabische-mittelalterliche Tradition 1–3*. Harrassowitz, Wiesbaden. 1986. 1990. 1991.
- LLOYD, G. E. R. *Greek Science After Aristotle*. W. W. Norton, New York. 1973.
- MARÓTH, Miklós. *Arisztotelésztől Avicennáig*. Akadémiai, Budapest. 1983.
- MITTELSTRAß, J. *Die Rettung der Phänomene. Ursprung und Geschichte eines antiken Forschungsprinzip*. Berlin. 1962.
- NEUGEBAUER, Otto. *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. Vol. 1–3. Springer, Berlin. 1975.
- NEUGEBAUER, O. *Az egzakt tudományok az ókorban*. Gondolat, Budapest. 1984.
- NORTH, J. D. *Horoscopes and History*. London. 1986.
- PLATÓN. *Timaios (Platón Összes Művei III.)*. Európa, Budapest. 1984.
- PÓLYA, György. *A gondolkodás iskolája*. Gondolat, Budapest. 1977.
- REHM, Albert. *Parapegmasstudien*. Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Phil.-hist. Abteilung. Heft 19., München. 1941.
- RITOÓK, Zsigmond, SARKADY, János, és SZILÁGYI, János György. *A görög kultúra aranykora*. Gondolat, Budapest. 1984.
- SAIN, Márton. *Nincs királyi út!* Gondolat, Budapest. 1986.
- SAMBURSKY, S. *The Physical World of Late Antiquity*. Routledge, London. 1962.
- SARTONE, Georg. *A History of Science I–II*. Oxford U P, London. 1959.
- SARTON, George. *Ancient Science and Modern civilization. Euclid and Ptolemy. The end of Greek science and culture*. Lincoln. 1954.
- SIMONYI, Károly. *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest. 1978, 1981 stb.
- STEIGER, Kornél. *Görög gondolkodók 1–2*. Kossuth, Budapest. 1992.
- STEIGER, Kornél (szerk.). *Parmenidész és Empedoklész töredékei*. Gondolat, Budapest. 1985.
- SWERDLOW, N. M. Ptolemy's Theory of the Inferior Planets. *Journ. for the Hist. of Astronomy* 20, Part 1. 1989.
- SZABÓ, Árpád és KÁDÁR, Zoltán. *Antik természettudomány*. Gondolat, Budapest. 1984.
- SZABÓ, Árpád. *A görög matematika kibontakozása*. Magvető, Budapest. 1978.
- SZABÓ, Árpád. *Az antik csillagászati világkép*. Typotex, Budapest. 1998.
- SZEPES, Erika (főszerk.). *Antik lexikon*. Corvina, Budapest. 1993.
- TATON, R. (ed.). *History of Science. Ancient and Medieval Science from the Beginnings to 1450*. Basic Books, New York. 1963.

TAUB, L. C. *Ptolemy's Universe*. Open Court, Chicago and La Salle, Illinois. 1993.
VEKERDI, László. *Kalandozások a tudomány történetében*. Magvető, Budapest. 1969.
van der WAERDEN, B. L. *Die Astronomie der Griechen*. Darmstadt. 1988.
van der WAERDEN, B. L. *Egy tudomány ébredése*. Gondolat, Budapest. 1977.
ZAMAROVSKY, V. *A görög csoda*. Madách, Bratislava. 1980.

III. A KÖZÉPKOR TUDOMÁNYA

Ropolyi László

Az európai antik rabszolgatartó társadalmi berendezkedés hosszú agóniája nem biztosított kedvező feltételeket a tudományos gondolkodás számára. A helyzet valójában persze gyakran még rosszabb volt, és már elért eredmények, korábban létrehozott alkotások, gondosan felépített művek mentek veszendőbe, váltak visszavonhatatlanul a történelmi viharok áldozataivá.

Az intenzív politikai változások (a római birodalom kettéválása, a népvándorlás egymást követő hullámai, a nyugat-római birodalom összeomlása, Európa évszázadokig tartó társadalmi átalakulása) közepette fokozatosan kiépül és uralkodóvá válik a kereszténység eszmerendszere, ami radikálisan átértékeli az egész antik világképet s ezen belül a tudás és a tudományos ismeretek helyét és szerepét is. A korszak gondolkodói tekintetüket az örök, égi, tisztán szellemi, isteni szférákra irányítják, számukra az érzéki világ legnagyobbbrészt elértéktelenedik. „Csak az eszmék valóságosak” – hangzik a korabeli szentencia. Minek is foglalkoznának az érzéseket esetenként rabulejtő értéktelen „látszatokkal”? A tudás elveszíti korábban megszerzett jelentőségét, ez a korszak nem a kritikus gondolkodásra, hanem az erős hitre alapozza világképét. A kor embere nem feltétlenül ellenséges a tudással, de nem érdekli, vagy esetleg annyiban mégis, amennyiben a tudás is hozzájárulhat valamivel hite erejéhez. A tudás legfeljebb a hit kiszolgálója lehet: filozófia helyett inkább teológiát produkálhat.

Természetesen a középkori világnézetnek is vannak különböző fokozatai és eltérő változatai. Nyilvánvalóan sok szempontból különbözik az V–X. századi koraközépkori gondolkodás a XII–XIII. századi gondolkodásmódtól, és a XIV–XV. századi későközépkortól is. A *koraközépkori* időszak a patrisztika virágzásának kora: a tudás nyilvános használata megszűnik, a gondolkodás, ha egyáltalán jelen van, egyes egyházatyák tevékenységeként visszaszorul a fokozatosan kiépülő kolostorokba. A szerzetesek világfelfogása általában neoplatonista világképre épül. A *XII–XIII. században* nagy változásokat figyelhetünk meg. Az egyik fontos fejlemény a világi képzési célokat követő *egyetemek* megalakulása és gyors szaporodása. Ez a változás visszaidézi és megváltozott formában megismétli az antik görög társadalomnak a tudás nyilvánosságát lehetővé tevő törekvését, és így rendkívüli jelentőséggel bír. Ugyancsak fontos változás, hogy ezidőtájt arab közvetítéssel visszaáramlik Európába a görög tudomány. Az ennek hatására kiépülő *skolasztikus* gondolkodásmód Arisztotelész természetfilozófiai és Galénosz orvosi ismereteire támaszkodik, ami a tudás pozíciójának részleges javulását jelenti. A filozófia ugyan továbbra is a teológia szolgáltatója marad, de fokozatosan teret nyer a kettős igazságra vonatkozó elképzelés, ami a hit mellett a gondolkodást és a tudást is értékesnek ismeri el. A XIV–XV. századi *későközépkori* fejlődésben fokozatosan feltárulnak a skolasztika korlátai: tekintélyelvűsége, életidegensége, és elméleteinek a tapasztalati megerősítést gyakran nélkülöző megalapozatlansága. Mindezek kritikája, és a középkorban folyamatosan zajló technikai fejlődés következményei hamarosan elvezetnek a reneszánsz tudományos gondolkodásához és a tudományos gondolkodás *reneszánszához*: az újkori *tudományos forradalomhoz*.

Alapvetően megváltoztatta a tudományos gondolkodás fejlődését a római birodalom keleti és nyugati részekre szakadása. A tudomány helyzete a görög nyelvű *Bizáncban* – talán az ott érvényesülő nagyobb politikai stabilitásnak, a nyugattól némileg eltérő krisztianizálódási folyamatnak, és a még élő görög hagyományoknak köszönhetően – évszázadokig lényegesen jobb

volt, mint nyugaton. Amikor a helyzet a VI. század körül ott is kedvezőtlenebbé vált sok tudós keletre költözött tovább, *Szíriában* és *Perzsiában* alakultak új tudományos közösségek és intézmények. Majd a térségben a VII. században bekövetkező arab expanzió következtében a tudósok, s velük együtt a régi nagy görögök művei és ismeretei szétterjedtek az egész régióban. Ilyeténképpen az *arab birodalom* különféle kalifátusai lettek a következő *ötszáz éven* át (nagyjából a VIII. és a XII. század között) a tudományos élet, a tudományos tevékenység központjai. Athén és Alexandria centrális helyét Bagdad és Cordoba foglalja el.

Az európai viszonyok stabilizálódása a XI–XII. századtól kezdve Európában is lehetővé tett valamiféle tudományos megújulást. Az arabok által megőrzött és továbbfejlesztett görög tudomány rövid idő alatt beáramlott Európába: számos addig ismeretlen mű került az európai egyetemek tudós tanárainak kezébe, hozzáférhetővé váltak Arisztotelész és Galénosz természetfilozófiai írásai, Avicenna, Averroës és sok kiváló arab matematikus, orvos és alkimista munkái. A XIII. századi európai tudomány már lényegében felveszi a versenyt az időközben meggyengülő arab tudományossággal és hamarosan vezető szerepet kezd betölteni. (Különösen akkor állíthatjuk ezt, ha eltekintünk a korabeli kínai tudomány eredményeitől.)

A középkori tudomány történetének jó összefoglalását nyújtja Bernal¹ és Simonyi² munkája is. Emiatt a középkor tudományának történetét itt csak röviden fogjuk tárgyalni és a további részletekre kíváncsi olvasót ezeknek a könyveknek a tanulmányozására buzdítjuk. Itt először a tudományok koraközépkori európai helyzetét fogjuk röviden jellemezni, majd bemutatjuk a görög tudomány hosszú vándorútját Perzsián és az arab birodalmon át a XIII. századi Európába. A XII–XIII. századi európai tudományos fejlődésből elsősorban az egyetemek kialakulásával és szerepével, valamint a korszak tudományos gondolkodását meghatározó, jelentősebb Arisztotelész kommentárokkal foglalkozunk. A középkori tudományra vonatkozó áttekintésünket egy speciális probléma, a természeti törvény fogalmának – az ókoron és az egész középkoron átnyúló – fejlődési folyamatát bemutató gondolatmenettel zárjuk.

A) A tudomány helyzete a koraközépkori Európában

Amennyiben egyáltalán beszélhetünk koraközépkori tudományról, akkor mindenképp azt kell figyelembe vennünk, hogy az tulajdonképpen kizárólag természetfilozófiaként létezhetett. A korabeli természetfilozófia a platóni filozófiai hagyomány elemeiből épült fel, mint annak némileg misztifikált irracionalizált változata. A koraközépkori neoplatonista természetfilozófia alapvető problémája *Isten és a természet viszonyának helyes megértése*. A korszak tipikus felfogása szerint *a természet Isten műve*, amit a semmiből teremtett meg. Így beszél erről Augustinus (354–430):

„... Bölcsességben alkottál valamit és semmiből teremtettél.

Alkottad ugyanis az eget és a földet. Nem Magadból, mert akkor egyenlő volna Egyszülött Fiaddal és következőleg egyenlő Veled. És semmiképpen nem volna méltó, hogy Veled egyenlő legyen, ami nem Benned van. Rajtad kívül még semmi sem létezett, amiből ezeket megteremtsetd, én Istenem, egyetlen Háromságom, és hármasságom.

¹ Bernal J. D.: *Tudomány és történelem* (Gondolat, Budapest, 1963), 161–229. o.

² Simonyi K.: *A fizika kultúrtörténete* (Gondolat, Budapest, 1978), 99–142. o.

Tehát a semmiből alkottad az eget és a földet. Nagy dolog az egyik és kicsiny a másik. Mindenható és jó vagy ugyanis minden jónak megteremtésére, a nagy ég és a kicsinyke föld megalkotására. Te voltál és más semmi sem volt, amiből alkottad volna az eget és a földet, e kettős valamit. Majdnem Te vagy az egyik és majdnem semmi a másik. Az egyiket alkottad, hogy csupán Te légy nála fölségesebb, s a másikat, hogy alacsonyabb nála már semmi sem legyen ...

Az eget ege a tiéd Uram. A föld azonban, melyet az emberek fiainak adtál, hogy szemléljék és járjanak rajta, nem olyan volt, amilyennek most látjuk és tapogatjuk. Láthatatlan volt és rendezetlen ...

Az őanyag azonban a maga egészében majdnem semmi volt, mert egyáltalán hiányzott alakja. Mégis létezett már valami alakítható.

A világot Uram ebből az alakatlan anyagból teremtetted. A semmiből alkottad ezt majdnem semmivé, hogy megépítsed belőle a tőlünk, esendő emberektől annyira megcsodált fölséges teremtményeidet.

Igen csodálatos Uram ez az anyagból való égboltozat. Boltozatul állítottad ezt a víz és víz közé, a világosság teremtése után a második napon. A 'Legyen' igével cselekedted ezt és valóságosan úgy lőn. Égnek nevezted ezt a boltozatot, ámde a föld és a tenger ege volt ez. Őket a harmadik napon teremtetted, midőn az alakatlan őanyagnak látható alakot adtál.

Az őanyagot pedig minden napok előtt szólítottad létbe. Eget is alkottál még a napok előtt, de ennek a mi egünknek egét, mivel kezdetben teremtetted az eget és a földet. A tőled alkotott föld csupán alakatlan anyag volt. Ebből a láthatatlan és rendezetlen földből, ebből az alaktalanságból, e majdnem semmiből teremtetted mindazt, amiből áll, és mégsem áll a változó világ.”³

Augustinus számára fontos az is, hogy Isten nem hagyja magára teremtett világát, mivel a világ állandó gondoskodására szorul. Augustinus álláspontjának jellegzetes összetevői: a semmiből való teremtés eszméje és a Bibliával való lehető legnagyobb összhang követelménye. Híres tézise szerint az *anyag majdnem semmi*, persze a teremtő isteni akarathoz viszonyítva az. Augustinus idézett sorai talán eléggé világossá teszik, hogy milyen lehetőségei maradtak a tudományos gondolkodás képviselőinek. Kérdés persze, hogy a középkori politikai és vallási indíttatású háborúskodások és a gyakran változó zavaros társadalmi viszonyok közepette maradtak egyáltalán gondolkodók?

A koraközépkori világ bizonytalansággal és túláradó érzelmekkel teli légkörében az elmélyült gondolkodásra törekvő lelkek gyakran arra kényszerültek, hogy a világból való „kivonulást”, a mindennapi élet zavaró tényezőitől való elszigetelődést válasszák. Kialakul a „remeteség intézménye”, az anyagi világ hívságairól lemondó és a lehető legteljesebb mértékben eszmei értékeket követő emberek életformája. A magányos *remeték* mellett hamarosan létrejönnek a hasonló értékrendet követő elhivatottakat összegyűjtő *kolostorok* is, ahol a közösség minden tagja által elfogadott rendszabályok szerint zajlik az élet. A kolostorok a középkori intellektuális élet fontos, – sőt talán egyedüli – helyszíneivé váltak. Viszonylagos biztonságot és stabilitást nyújtottak a kolostorlakók számára – a legtöbb kolostor pl. anyagi szempontból is önellátó volt –, és alkalmat adtak a szellemi értékekkel való foglalatosságokra is. A kolostorok szellemi irányításában a

³ Augustinus A.: *Vallomások* (Gondolat, Budapest, 1982), 386–388. o.

kiépülő egyházi hatalom fontos pozíciókat szerzett. A sorra alakuló és a kolostorokba települő különféle *szereztesrendek* a kolostorok világát sokszínűvé tették.

Hasonló folyamatok zajlottak egész (Nyugat-)Európa szerte, de a kolostorok érdekes módon leghamarabb és legnagyobb mértékben a mai Írország területén fejlődtek ki. A kolostorokban persze nem csak a kultúra iránt elkötelezett emberek gyűltek össze, hanem azokban koncentrálódott a fellelhető szellemi javak sokasága is: könyvek, készségek és technológiák is. A könyveket másoló szerzetes közismert figurája hozzátartozik a középkori világ képéhez. Figyelemre méltó, hogy a másolatok készítői gyakran nem értették a másolt szövegeket, alkalmasint ki-kihagytak érthetetlennek tűnő részeket. Tevékenységük tulajdonképpen nem is írás volt, hanem inkább rajzolás, mivel az ekkoriban elterjedt írás, a nagy latin betűk használata ezt követelte meg. (A kisbetűs írást, vagyis a kézírás betűit, amelyekkel sokkal gyorsabban lehetett dolgozni csak a VIII. században vezette be yorki Alkuin (735–804), Nagy Károly aacheni udvarának legjelentősebb tudósa.)

A tudás „kolostorba vonulásának” nagy társadalmi jelentősége van. Mindenekelőtt azért, mert a tudás helyzete ezzel a változással ismét az antik Egyiptomban fennállott helyzethez vált hasonlatossá, ahol a tudás a papi kaszt kiváltságaként funkcionált. Ahogy korábban már megbeszéltük, a görög társadalom és kultúra fejlődését, nem utolsó sorban éppen az tette lehetővé, hogy a görögök társadalmában a tudás nyilvános használata lehetséges volt. Ennek a lehetőségnek a koraközépkori eltűnése – a történeti tapasztalatoknak megfelelően – a kulturális fejlődést jelentősen visszavetette, gyakorlatilag megszüntette. A tudás nyilvános, világi használatának ismételt feléléde a középkori Európában több hullámban zajlik le, legnyilvánvalóbb és legsikeresebb formában a világi egyetemek létrejöttének formájában a XII–XIII. században.

Az egyetemek létrejöttéig terjedő hosszú időszak gondolkodástörténetéből csupán néhány apróbb momentumot szeretnénk megemlíteni. Először az ún. *latin enciklopédisták* néhány képviselőjének munkásságával foglalkozunk. Az nyugat-római birodalom tudományos életének utolsó képviselői közül fontosnak tűnik Boëthius (kb. 475–525) fordítói tevékenysége. Latinra fordította Eukleidész *Elemek* című könyvét és Arisztotelész számos logikai munkáját, így pl. a *Kategóriák*-at, és a *Hermeneutikát*, valamint ezek különféle kommentárjait is. Így hozzájárult ahhoz, hogy ezek a művek meghatározó szerepet játszassanak a középkori oktatásban. Fordításai mellett jelentősek egy-egy tudományterületet *összefoglaló* (aritmetikai, zenei, csillagászati témájú) munkái is, és az „A filozófia vigasztalása” című, nagy hatású filozófiai esszéje. Boëthius kortársa Cassiodorus (kb. 480–575) is sokat tett a klasszikus műveltség megőrzése érdekében. Kolostorában tudatosan törekedett klasszikus művek összegyűjtésére és reprodukciójára. Boëthius fentebb említett fordításain kívül a koraközépkori gondolkodók latinul olvashatták még pl. a következő munkákat is: Platón Timaiosát, Hippokratész, Galénosz és más orvosok számos művét, Nikomakhosz Aritmetikáját, s néhány további mechanikai és földrajzi írást.

A valamivel később tevékenykedő Sevillai Izidor (560–633) a korabeli tudományok összefoglalására vállalkozott. Csillagászati, meteorológiai, földrajzi, kozmológiai ismereteket felölelő munkáiból kitetszik a tudás hanyatlása. A középkori csillagászati feladatok közé tartozott az egyházi naptárhoz szükséges számítások elvégzése (az ún. kompútusz), mindenekelőtt a húsvét évről-évre változó időpontjának kiszámítása. Ebben a munkában jeleskedett a történetíróként is ismert Beda (673–735), aki a feladat megoldására egy, állítólag a Hold mozgásának pontos megfigyelésén alapuló, jobban érthető eljárást javasolt.

Karoling „reneszánsz”-ként szoktak hivatkozni a Nagy Károly uralkodása idején a IX. század elejétől Nyugat-Európában kibontakozó intellektuális fellendülésre. Ez mindenekelőtt abban állt, hogy a frank birodalomban az általános műveltség fejlesztésének feladatával többszintű iskolarendszer kiépítéséhez fogtak hozzá. Az iskolai szervezet struktúrája a hierarchikus egyházi struktúrához igazodva alakult ki. Meghatározták a tanítás tartalmi elemeit is. A régiek által „hét szabad művészet”-nek nevezett tudásrendszert két részre osztották. A „szavak tudományaival” foglalkozó *trivium* része volt a grammatika, retorika és dialektika, az „egzakt tudományokat” reprezentáló *quadrivium* pedig aritmetikából, geometriából, asztronómiából és zeneelméletből állt.⁴ Az oktatás persze korántsem volt általánosan elterjedt, ráadásul az egész folyamat az aktuális politikai helyzet szorításában hamarosan elakadt, illetve háttérbe szorult.

B) A tudás hosszú vándorútja: Bizánc, Perzsia, arabok, Európa

Talán már a fenti rövid leírásból is látható, hogy az antik görög tudomány nyugat-európai jelenléte nem volt igazán jelentős. A görögök magas szintű ismeretei csak jelentős kerülővel és közel ezer éves késéssel jutottak el Európába ismét. Azt láthatjuk, hogy a sajátos történelmi körülmények következtében, a tudósok és tudományos centrumok fokozatosan kelet felé mozogtak, s csak az évszázadokon át fennálló, s az egész mediterrán térségre kiterjedő arab birodalom belső viszonyainak következtében indult el a fordított folyamat. Így végül az arab közvetítés révén a görögök ismeretei Szicílián és a mai Spanyolországon keresztül a XI–XII. században megérkeztek Európába s ezáltal a görög tudomány ismét teljes mértékben bekapcsolódhatott az európai kultúra áramlatába. A tudás útjának fontosabb állomásai: Bizánc, Perzsia, a keleti, majd a nyugati arab kalifátusok, és végül Európa.

1. A bizánci tudomány

A bizánci tudomány meghatározó szerepet játszott az antik tudományos örökség megőrzésében. Konstantinápoly a korabeli világ legnagyobb városaként, a császári hatalom központjaként sok száz éven keresztül a tudomány és filozófia képviselőit számára is vonzeróval rendelkezett. Bár a birodalom szinte folyamatosan harcban állt Perzsiával, a különféle „barbár” támadókkal, majd az arabokkal is, életviszonyait mégis a viszonylagos stabilitás jellemezte. A kereszténység ideológiája itt is érvényre jutott, ami a nyugati változásokhoz lényegében hasonló következményekkel járt itt is, de lassabban és fokozatosabban bontakoztak ki a következmények. Így pl. csak a VI. században fejlődött odáig a helyzet, hogy Justinianus császár bezáratta Athénben a platóni Akadémiát, előnyös helyzetbe hozva ezzel az akkor már létező bizánci egyetemet. Hírek szerint különösen arra volt tekintettel, hogy a bizánci intézmény – szemben az athénivel – keresztény vezetés alatt állt. Mindenesetre Bizánc lényegében megőrizte görög jellegét a hellén kultúra számos elemével együtt.

A bizánci tudósok tevékenysége nem vezetett túl sok eredeti és maradandó gondolat, vagy gyakorlati eredmény előállításához, de az antik görög tudás (beleértve a régi kéziratokat is) őrzése és reprodukálása felbecsülhetetlen jelentőségűnek látszik. Emellett persze néhány érdekes fejleményről azért beszámolhatunk. Így például az imént említett egyetem működése egyedülálló jelenségnek tekinthető. Nyugaton csak évszázadokkal később jönnek létre hasonló intézmények.

⁴ Mészáros I., Németh A., Pukánszky B.: *Bevezetés a pedagógia és az iskoláztatás történetébe* (Osiris, Budapest, 1999), 50–51. o.

Ugyancsak fejlett alkímista tevékenység folyhatott a birodalomban. Számos alkímista kézirat származik ebből a környezetből. A kémiai ismeretek fejlettségéről tanúskodik a kortársak által félelmetes fegyvernek tekintett „görgőtűz” feltalálása és sikeres alkalmazása. Úgy tűnik, a bizánci birodalom lakói a gyakorlati tevékenységek művelését is nagy becsben tartották. Erre utalnak a kifinomult technikával előállított korabeli *asztrólabiumok* és más bonyolult időmérő mechanikai szerkezetek is.⁵

Vallási kérdésekben kirobbanó viták következtében keresztény tudósok jelentős csoportjai – főként akik a kereszténység nesztoriánus irányzatához tartoztak – költöztek az V. század végéig a birodalom keleti peremvidékére, illetve a szíriai Edessa-ba s a perzsa határon fekvő Nisibis-be. Itt felsőfokú tanulmányokat lehetővé tevő iskolákat alapítottak, ahol keresztény teológiával, matematikával, arisztotelészi logikával és orvosi ismeretekkel is megismerkedhettek a hallgatók. A szír és perzsa területeken gyorsan felvirágzott a szellemi élet. Sok alapvető régi görög könyvet fordítottak le szír, majd perzsa nyelvre. A perzsa uralkodó Bizáncba küldi követeit könyveket vásárolni, Perzsiába hívja a bezárt athéni Akadémia tudósait. (Szimplikiosz, a híres Arisztotelész kommentátor, például járt Perzsiában ekkoriban.) A klasszikus görög kultúra visszavonhatatlanul beáramlik Perzsiába. Orvosok, csillagászok, filozófusok sokasága érkezik ide, akik hamarosan a helyi szellemi életet meghatározó tényezőkké válnak. Perzsia déli részén – Dzsundisápur városában – létrejön egy sajátos nesztoriánus keresztény kulturális központ is. Mindez lehetővé teszi, hogy a görög tudomány eredményei újabb népcsoportok számára váljanak elérhetővé Közép-Ázsiában és az arab félszigeten is.

2. Az iszlám tudomány

Az arab népek expanziója Mohamed (632-ben bekövetkező) halálát követően hamarosan megindul. A Nagy Sándor-i birodalom méreteivel vetekedő birodalmuk néhány évtized alatt megszületik, s Indiától a Pireneusokig terjedően magába foglalja a mediterrán medence legnagyobb részét. Bizánc sikeresen ellenáll, de Perzsiát például meghódítják, s Perzsiával együtt az oda menekült görög kultúra is arab kézre kerül. Ámbár úgy tűnik, az arabok nagyon is jól sáfárkodnak vele.

Az arab kalifátusokban (kezdetben Damaszkusz, majd Bagdad volt a hatalmi és kulturális központ) a kultúra rendkívül sokszínű. Indiai, szír, görög és perzsa hatások keverednek s alakítják ki a sajátos iszlám kulturális közeget. Az arab uralkodók megtalálják a módját a kultúra támogatásának, iskolákat, egyetemeket, kutatóhelyeket létesítenek s tartanak fenn. Így például a híres Harun al Rasid kalifa fia Bagdadban a IX. század elején létrehozta a „Bölcsesség Háza” nevű kutatásokkal foglalkozó intézményt, ahol nagy jelentőségű fordítói munka folyt. Nagyszámú korábban görögről szír nyelvre fordított könyvet fordítanak le arabra, míg más munkákat görög eredetiből közvetlenül ültetnek át az új tudományos nyelvre. (Sok antik művet csak ezeknek a fordításoknak a révén ismerünk, mivel az eredeti művek később elvesztek.) Ezek az arab fordítások a birodalomban nyugatra vándorolván, hamarosan felbukkannak az arabok európai kalifátusában, pl. Cordobában is, s itt előbb-utóbb majd latin fordításaik is lesznek. Könnyen elképzelhetjük a szövegek hanyattatásait: például egy ezerötyszáz évvel korábbi Arisztotelész írás az eredeti görögről előbb szír, majd a szírből arab nyelvre fordítódik, végül az arab szöveg latin fordítása is elkészül, mondjuk a XII. században. Kész csoda lenne, ha a szöveg valamennyire még

⁵ Field J. V., Wright M. T.: Gears from the Byzantines: A Portable Sundial with Calendrical Gearing, *Annals of Science* 42 (1985), 87–138, o.

emlékeztetne az eredetire! És ezek a szövegek mégiscsak használhatóak! Szerencsére esetenként előkerül a görög forrásmű is, és lehet javítani a dolog eredetiségén, ha szükséges. Ámbár az is nagyon jellemző lehet, hogy egyes korokban ki és hogyan értette, vagy értelmezte a kérdéses műveket, vagyis a romlott szövegek is nagyon hasznosak tudnak lenni.

Az arab kultúra közvetítő szerepe mellett számos vonatkozásban hozzá is járult a régiék eredményeihez. Az arab tudomány (talán helyesebb volna iszlám tudományt mondani, hiszen az arab birodalomban élő és alkotó tudósoknak általában csak a vallása és a tudományban használt nyelve volt közös, de a legkülönbözőbb népek szülőttei voltak: arabok, berberék, perzsák, üzbégek, görögök, törökök stb.) jellegzetesen arisztotelianus elvekre épült – ez a szemléletmód élesen szemben állt az európai gondolkodás platonista ideológiai dominanciájával. Az arab tudós gyakran polihisztor, egyszerre orvos, filozófus, természettudós és költő is, mondjuk úgy ahogy Avicenna (Ibn Sina), vagy Omar Khajjám esetében megfigyelhetjük. Az arab tudomány jellegében az antik görögök tudományára emlékeztet, vagyis legnagyobbbrészt természetfilozófiai formában létezik. A legjelentősebb korabeli arab filozófusok sokat tanultak Arisztotelésztől, lényegében az ő nézeteinek valamilyen továbbgondolásával találkozhatunk – ha nem is egyforma mértékben – al Kindi (801–866), al Farabi (870–950), Ibn Sina (Avicenna) (980–1037), al Gazali (1058–1111) és Ibn Rusd (Averroës) (1126–1198) gondolatrendszerében.

Az arab tudomány legalább három területen produkált figyelemre méltó eredményeket: a matematikában, a csillagászatban és az alkímia területén. Az arab matematikusok vették át Indiából az ún. arab számok és a zérus használatát s munkásságuk révén terjedt el Európában is ez a számírási forma, ami a matematikai műveleteket (és az üzleti könyvelési gyakorlatot is) lényegesen leegyszerűsítette. Az arab matematikusok konkrét eredményeit könyvünk más helyén ismertetjük.⁶ A csillagászat területén jó megfigyelők voltak, megfigyeléseiket Ptolemaiosz rendszerének alkalmazásával értelmezték. Dzsabir (vagy Geber) hatalmas mennyiségű alkímiai műve az arab alkímia fejlettségéről tanúskodik.⁷

Az arab kultúra a XI–XII. században különösen az ibériai félszigeten virágzott. Cordoba akkoriban (Bizánc után) a világ második legnagyobb városának számított, milliós lakossággal, fejlett infrastruktúrával és kultúrával. Jellemző például, hogy a cordobai emirátus könyvtárában 400 000 kötetet őriztek. Jobbára itt élt és dolgozott a híres filozófus Ibn Rusd (Averroës) is. Averroës munkásságát főként Arisztotelész műveihez írt kommentárjai teszik jelentőssé. 38 ilyen kommentárja maradt fenn, egyes Arisztotelész művekkel többször is foglalkozott. Összefoglalta, magyarázta, megjegyzésekkel látta el Arisztotelész *Fizika*, *Az égről*, *A keletkezésről és pusztulásról*, *Meteorológia* és *Metafizika* című műveit. (Éppen azokat, amelyek Európában ismeretlenek, illetve tiltottak voltak.) Megpróbált Arisztotelész neoplatonista értelmezése helyett visszatérni a filozófus eredeti mondanivalójához. Sikeres munkálkodását jelzi, hogy sokáig csak mint „a kommentátor”-t emlegetik. Kommentárjainak körülbelül a felét a XIII. században lefordították latinra s ezek révén nagy hatást gyakorolt az európai intellektuális élet fejlődésére, például Aquinói Tamás gondolkodására.

⁶ Lásd továbbá Simonyi könyvében a 117–120 oldalakat.

⁷ Balázs L., Hronszky I., Sain M.: *Kémiatörténeti ABC* (Tankönyvkiadó, Budapest, 1981), 21. o.

C) Európa újra kezdi a XII–XIII. században

Természetesen nem csak Averroës Arisztotelész kommentárjai kerültek a nyugat-európai gondolkodók asztalára, hanem sok más mű is. Az arabról latinra való fordítások már a X. században megkezdődtek, és a XII. századra már sok mű fordítása elkészült. Időközben hozzáfogtak a fellelhető görög nyelvű szövegek latin fordításaihoz is. Ezeknek a folyamatoknak az együttes hatása következtében a görög kultúra a XII. századra lényegében ismét hozzáférhetővé vált Európa nyugati felén is. Ez egy új európai fejlődési folyamatnak a kiindulópontja lett. A görög kultúrára való európai „reakciók” több hullámát figyelhetjük meg: a XIII. századi skolasztikus gondolkodásmód kialakulása talán az első hullámnak tekinthető, a XV–XVI. századi reneszánsz világnép létrejötte részben szintén így fogható fel, s a XVII. századi újkori tudományos forradalom tetőzi be a változatok sorát.

A görög kultúra megismerésének a lehetősége önmagában természetesen még nem volna elegendő fontos kulturális és társadalmi változások kiváltásához. Ami még nagy jelentőséggel bír, az a közösségnek a tudáshoz való viszonyában megfigyelhető változás. A tudás fokozatosan ismét kikerül a kolostorok zárt világából és a közösség jelentős számú tagja számára hozzáférhető lesz. Megváltoznak az iskoláztatási szokások, a korabeli iskolák jellege is átalakul. A XII. században ebből a szempontból jelentősnek tartják a Chartresben, Orleansban és Párizsban egyházi intézményként működő iskolákat. Az iskolák és a diákok száma azonban erős növekedésnek indul és hamarosan egy új szervezet jön létre a középkori *egyetem*. Az első egyetemek Bolognában kb. 1150-ben, Párizsban (1200 körül) és Oxfordban (1220 táján) alakulnak meg. Az egyetem világi oktatási intézmény, mind képzési céljait, mind szervezetét tekintve. Az egyetem név egyszerre utal az ismeretek univerzumára és a diákok és tanítóik közösségére is. Ezek a közösségek többnyire a hatalom intézményeitől független, demokratikus működésmódra törekszenek. (Némileg emlékeztetnek ugyan a középkori kolostorok közösségeire is, de kevésbé hierarchikus szerkezetűek és a közösséghez való tartozás jellege is teljesen más.)

Rövid időn belül egyetemek alakulnak a következő helyeken: Montpellier (1220), Padova (1222), Nápoly (1224), Cambridge (1225), Toulouse (1229), Angers (1229), Salamanca (1230), Valladolid (1230), Salerno (1250). Egyes egyetemeknek hamarosan 1000–2000 hallgatójuk van.

Az oktatott tananyag több részre oszlik. Alapozásként általában az ún. hét szabad művészetet tanulják, majd magasabb fokon speciális ismeretek kerülnek előtérbe. Itt már a rendelkezésre álló „klasszikus” görög szerzők, illetve arab követők műveinek tanulmányozása is napirenden van.

Arisztotelész művei közül azonban kezdetben csak logikai írásai szerepelnek a tananyagban. 1200 körül az összes Arisztotelész mű olvasható volt már latinul, de az arisztotelészi természetfilozófia pozíciója eléggé ingató volt. Az volt vele a fő probléma, hogy nem tartalmazta a teremtő Isten eszméjét, ezért a korabeli egyházi intézmények panteista felfogásnak tekintették, s tiltották hirdetését. A kifogásokat jól demonstrálja a következő korabeli jelmondat: „Krisztus szelleme nem uralkodik ott, ahol él Arisztotelész szelleme”. Párizsban 1210-ben és 1215-ben is tiltó határozatokat hoztak az egyházi hatóságok. A későbbiekben is hasonló rendelkezéseket adtak ki, sőt a korlátozást kiterjesztették más egyetemekre is.

Az arisztotelészi tanok sorsa az újabb keletű kommentátorok kezében volt. Európában talán Nagy Albert (Albertus Magnus) (1200–1280) volt elsőként abban a helyzetben, hogy Arisztotelész minden munkáját ismerve kommentálhatta a nagy görög nézeteit. Így aztán ő lett az első „arisztotelianus”, bár Arisztotelész értelmezése még sok platonista elemet tartalmazott s kevésbé

volt sikeres.⁸ Albert híres tanítványa Aquinói Tamás (1224–1274) is arisztotelianus lesz, de ő végül több sikerrel jár. Arisztotelész kommentárjaiban⁹ és más műveiben kifejezésre juttatja sajátos álláspontját, amelynek révén összhangba tudja hozni az arisztotelészi fizikát és a kereszténység teológiai felfogását. Magyarázata szerint, ahogyan a konkrét létező egyesíti az arisztotelészi formát és az anyagot, ugyanúgy a természeti létezőkben megfigyelhető értelmes isteni rend áthatja és formálja az anyagi világot, s ilyenformán Isten mindent áthatóan mindenben szükségszerűen ott van. Tamás tehát megpróbálja összebékíteni az egyházat a természettel, a gondolkodást a teológia igazságaival. Ehhez persze neki is a kettős igazság felfogására van szüksége. Tamás nézeteit a korabeli hangadó körök nem fogadták el, így Arisztotelész is tiltott maradt még egy ideig (1277-ben ismételt hivatalos elutasításban részesülnek, ezt a határozatot csak mintegy ötven év után vonnak vissza), de néhány évtizeddel később a „hivatalos világnézet” rangjára emelkednek. Az arisztotelianizmus valamivel radikálisabb változatát képviselte Brabanti Sieger (1240–1284).

A középkori gondolkodás persze nem csak Arisztotelész természetfilozófiai problémáin rágódott. Hosszú időn keresztül zajlott a realizmus-nominalizmus vita (a kérdés egyszerűen az, hogy a nevek valóban léteznek, vagy sem), amelyikből egymással szembenálló egész szerzetesrendek is alaposan kivették a részüket. A dominikánusokat és a ferenceseket szembeállító vélemények érvényre jutottak a rendekhez kötődő természetfilozófusok álláspontjaiban is.

A korszak tudományos gondolkodását talán jól illusztrálja Grosseteste (1168–1253), „fényelmélete” amelytől azt remélte, hogy segítségével különbséget tehet káprázat és valóság között. A valósághoz való tudományos viszonyulás sajátos változatát képviselte Roger Bacon (1220–1292) a kísérletezés fontosságát hangsúlyozva. Occam (1285–1347) „borotvája”, vagyis gondolkodás-metodológiai elve is figyelemre érdemes: olyan feltevésekkel élünk, hogy lehetőleg ne szaporítsuk szükségtelenül a létezők számát.

A kialakuló egyetemeken folyó tudományos munka érdekes eredményekre vezet párizsi és oxfordi fizikusok körében. A mozgások leírásának problémájával foglalkozó Nicole D’Oresme (1320–1382), Bradwardine (1290–1349), Heytesbury (1340 körül) és Swineshead (1330 körül) észreveszik az átlagsebességre vonatkozó ún. Merton szabályt. Buridan (1300–1358) az ókori Philoponoszhoz hasonlóan a levegőben mozgó test mozgásban levését nem a *horror vacui* elvvel, hanem saját, ún. *impetuselméletével* magyarázza. Az impetus a testet mozgásban tartó, a test által a mozgás során megszerzett hatás. Buridan impetuselmélete az arisztotelészi természetfilozófia elfogadásának korában sajátos módon már az arisztotelészi dinamikával való szakítást készíti elő. Hamarosan egyre több régi, jól bevált tudományos elgondolás válik kétségbevonhatóvá s sorolódik a dogmák körébe. Nicolaus Cusanus (1401–1464) felveti a Föld forgásának lehetőségét, Kopernikusz (1473–1543) még radikálisabb változást ajánl, s Kolumbusz is világképünket megváltoztató útnak vág neki.

Az arisztotelészi természetfilozófia sorsától némileg függetlenül, a latinul frissen olvashatóvá vált Galénosz is sok gondolkodót, illetve orvost segített tájékozódni. A középkori világban stabilan jelen van az alkímiai is. Hamarosan eljön azonban Paracelsus ideje, aki mindkét gondolatvilágban jelen van, orvos is és alkímista is, és valahogy mégis mindkettőtől különböző világkép híve.

A kibontakozóban lévő reneszánsz is mintha egyszerre akarná megőrizni és megszüntetni a frissen megszerzett antik kultúra értékeit.

⁸ Lang H. S.: *Aristotle's Physics and Its Medieval Varieties* (SUNY Press, Albany, 1992).

⁹ St. Thomas Aquinas: *Commentary on Aristotle's Physics* (Yale U. P., New Haven, 1963).

A középkori gondolkodás gyakori változásai mellett felfigyelhetünk a középkor csendes „technikai forradalmára”. Malmok, lószerszámok, hajók kormányai lesznek másokká. A technológiai szférában is hamarosan létrejön azonban valami egészen új – a könyvnyomtatás. A könyvnyomtatás és a vallási reformációs mozgalmak együttes hatásainak következtében kialakuló modern személyiség végképp véget vet a középkornak s immár történelmi léptékkal mérve is kezdődhet valami új.

D) Egy hosszú történet: a természeti törvény fogalmának kialakulása

A mai felfogásunkkal lényegében megegyező természeti törvény fogalom a XVII. század óta használatos. Ebben az időszakban, Descartes (1596–1650), Spinoza (1631–1677), Hooke (1635–1703), Boyle (1627–1691), és Newton (1642–1727) munkáiban találhatjuk meg e fogalom használatának valamilyen egybehangzó, az ókori és középkori felfogásoktól világosan különböző módját.

Évszázadokon át tartó fejlődés eredménye volt mindez. Ebben a folyamatban a meghatározó tényező, a legfontosabb kérdés az volt, hogy vajon, *a természet önálló*, a világ egyéb részeitől elválasztható, s azoktól független *létező-e*, illetve milyen értelemben függ össze más dolgokkal, mindenekelőtt az istenekkel, illetve Istennel, továbbá az emberi, társadalmi szférával. A kérdés különféle megoldásai ismeretelméleti szempontból is különböző eredményre vezetnek. Így például nyilvánvaló, hogy egy nagyobb önállósággal rendelkező létező működésének a jellemzésére sajátos, csak rá vonatkozó törvényeket is érdemes keresni.

Az ókortól a XVII. századig terjedő időszak világnézeti küzdelmeinek egyik eredményeként a természetet egyre szuverénebb, önállóbb létezőnek tekintik. Hasonló folyamat zajlott le a természeti törvény vonatkozásában is. Míg kezdetben feltétlenül érvényesülő *isten parancsokról* beszélnek, később Isten természetre gyakorolt befolyása lényegesen korlátozódik. Ugyanakkor hosszú időn keresztül azt gondolták, hogy *a társadalmi, erkölcsi és természeti törvények* egymáshoz teljesen hasonló módon működnek, és csak a XVII. századra kifejlődő új szemléletmódban választották határozottan külön ezeket a törvényfajtákat. Természetesen az ilyen körülmények között kialakuló természeti törvény fogalomban tükröződni fognak megszületésének körülményei is. Ezek a körülmények adnak magyarázatot például arra, hogy a természeti törvények ma is sokak felfogásában az egyes *természeti* objektumok, *események fölött uralkodó* általános *hatalomnak* látszanak. Ez persze nem szükségszerűen van így, hanem csupán a sajátos történelmi fejlődés következtében gondoljuk ezt a természeti törvényekről. Ebből a szempontból hasznos lesz egy összehasonlítás: a nyugati (európai) és keleti (kínai) gondolkodás természeti törvény felfogásának összevetése. Ebből kiténik majd, hogy az európaiakól lényegesen eltérő társadalmi fejlődés más gondolkodásmódot részesített előnyben, s ez a különbség markánsan tükröződik a jellegzetesen eltérő természeti törvény koncepcióban is.

Mindezek arra utalnak, hogy egy tudományos fogalom természetének és kifejlődésének a megértéséhez érdemes figyelembe venni az adott kor konkrét anyagi és szellemi környezetének sok tényezőjét, a mindennapi élet ismétlődő mechanizmusaitól kezdve, a társadalmi struktúrán és érdekviszonyokon keresztül, a korszak vallási és filozófiai nézeteiig terjedő széles spektrumban.

A továbbiakban először a természeti törvény fejlődésének Európában végbement folyamatát tekintjük át, majd röviden felidézzük a kínai filozófia álláspontját is.¹⁰

1. A természeti törvény fogalmának előtörténete

A természeti jelenségek számára *törvényt szabó istenség* eszméje már az ősi mítoszok világképében megjelenik. Ismeretesek *babiloni* források, amelyek ilyen értelemben szólnak. Ezek szerint Marduk napisten (aki i. e. 2000 körül vált főistenné) a csillagok törvényadója. Utasítja a csillagokat, parancsai révén pályáikon tartja őket, „előírja törvényeiket, ... kiszabja határaikat.”

Hasonló szellemben szól a *zsidó* hagyomány is. Isten a világ teremtője s törvényhozója. Mindenható hatalma egyaránt érvényesül népének körében az erkölcsi és vallási törvények követése révén, és a fizikai világban a parancsának engedelmeskedő természeti folyamatok által. Az *Ószövetségben* azt olvashatjuk, hogy Isten törvényt hozott az esőről, határt szabott a vizeknek, parancsolt a tengernek. Természetesen a Biblia szemléletmódja rendkívül erősen befolyásolta a későbbi korok gondolkodót.

Az első görög filozófusok a természetben érvényesülő *szükségyszerűség*ről beszéltek inkább, s nem törvényekről. A későbbiekben lényegében sem Démokritosz, sem Platón, sem Arisztotelész nem használja a törvény fogalmát természeti folyamatok értelmezésére. Rend, összefüggés, szükségyszerűségek és okok játszanak inkább szerepet náluk. Érdekes, hogy noha a korabeli tudomány több törvényt is ismert (pl. az emelők, a tükrözés, a felhajtóerő törvényeit), ezekről a nagy Arkhimédész is, mint bizonyos axiómákból szükségyszerűen következő *tételekről* írt.

Lényeges változást figyelhetünk meg az i. e. IV–III. századtól, a sztoikus filozófiai rendszer kiépülésétől kezdődően. A sztoikusok felfogásában összekapcsolódik három korábban létrejött világmagyarázó elem. A világban található rend (*kozmosz*) az univerzális rendezőelvnek, (görögül: *logosz*-nak) köszönhető. Az emberi világban, a polisz közösségében a rend fennállását a polisz törvényei (görög szóval: *nomosz*) biztosítják. Továbbá, elfogadták az isteni törvényhozó eszméjét is. Mindezeket egybefoglalva alakították ki nagyhatású gondolatrendszerüket: *logosz* és *nomosz*, Isten és Természet egyek, nincs különbség természeti és társadalmi szükségyszerűségek között, a természeti és emberi világot egyaránt az univerzális isteni törvény uralja és kormányozza.

Nézeteiknek sok fontos következménye támadt. Így mindenekelőtt fontos észrevenni, hogy az isteni szféra, valamint a természeti és társadalmi viszonyok egy rendszerben való értelmezésével azok értékrendje szükségképpen összehasonlíthatóvá, sőt összehasonlíthatóvá válik. Ennek egyrészt az a következménye, hogy a természeti folyamatokkal kapcsolatban erkölcsi, jogi s más társadalmi szempontokat is alkalmazni kell. Vizsgálható egy *természeti folyamat* haszna, vagy kára, *jósága*, rosszasága, megengedett, vagy tiltott volta. Másrészt fontos kérdéssé lesz a társadalmi folyamatok, illetve törvények természettel való összhangját firtatni; keresni a természet szerinti jót, s rosszat, a természetes erkölcsi értékeket, törvényeket, a *természet szerinti*

¹⁰ A felhasznált irodalom: Fehér M.: A természetfelfogás változásai. Az ókortól a természettudományos forradalom kezdetéig, *Világosság* 20. (1979), 488–497. o.; Needham J.: Az emberi törvény és a természeti törvények, *Filozófiai Figyelő* VI. (1984), 79–100. o.; Zilsel E.: A fizikai törvény fogalmának keletkezése, *Filozófiai Figyelő*, VIII. (1986), 89–113. o.; Nádor Gy.: *A természettörvény fogalmának kialakulása*, Akadémiai, Budapest, 1957. Megjegyeznénk, hogy könyvünknek ez a fejezete az *Előadások a természetfilozófia történetéből* című egyetemi jegyzet (ELTE TTK; Budapest, 1997), III/2. fejezetének rövidített és némileg átszerkesztett változata.

jogot. Fontos az is, hogy a törvények isteni eredete örök, megváltozhatatlan, minden konkrét helyzetet uraló hatalmi jelleget kölcsönöz nekik.

A sztoikus tanítások erőteljesen hatottak az antik Rómában. Ennek egyik megnyilvánulása az is, hogy a római jog figyelembe vette a fent említett lehetőségeket. A *Corpus Juris*¹¹ megkülönböztet pozitív jogot, illetve törvényt, ami egy nép, vagy állam polgári törvényeit jelenti, és nemzetjogot, ami lényegében a természeti törvényekre épülő, *természetjoggal* azonos. A pozitív jog sokféle lehet, de a természetjog a természetes észre hivatkozik, valami olyan örök dologként, amit a legtöbb ember igazságosnak tart; pl. Isten tiszteletét, a szülőknek való engedelmességet, továbbá:

„a természetjog az, amit a természet tanít meg minden élőlénynek; s ez nemcsak az emberi nem sajátja, hanem közös minden állatra is, amely a földön, a tengerben vagy a levegőben él. Ebből ered a férfi és a nő egyesülése, amit házasságnak nevezünk, s vele a gyermekek nemzése és gondozása, és valóban azt találjuk, hogy minden állatra, még az igen vad állatokra is jellemző ennek a törvénynek az ismerete.”¹²

Látható, hogy ezekben a nézetekben a természeti folyamat, mint a jogi megítélés tárgya jelenik meg (ami alkalmat ad pl. állatperek lefolytatására is), illetve a természetjogra hivatkozva emberi tettek, társadalmi folyamatok természetesnek, vagy természetellenesnek nyilváníthatók.

A középkori fejlődés saját igényeihez igazítva használta fel mindezen előzményeket a természeti törvény fogalmának fejlesztésében.

2. Isten és természet. Természetes és csodás dolgok

A középkori ember számára a természet Isten alkotása. Ámde ezen az általánosan elfogadott nézeten belül maradván is igen sok vitára adhat alkalmat az egyes konkrét létezők értelmezése és beillesztése a nagy világrendszerbe. Az egyes konkrét esetekben annak az eldöntése nem teljesen egyszerű feladat, hogy a szóban forgó dolog *természetes-e*? Mi lehet még ezen kívül? A középkori ember világgképében fontos szerepet játszottak a *természetellenes*, *természetfeletti* és *mesterséges* képződmények is. Ha ezeket is meg akarjuk magyarázni, felvetődik a kérdés, hogy vajon minden, ami a világon van az isteni teremtő aktus s gondoskodás következtében létezik-e, vagy vannak dolgok, amelyek más módon jöttek létre, illetve maradnak fenn? Isten csak a természetes dolgokat hozza létre, vagy valami módon hozzájárul a természetellenes dolgok létrejöttéhez is? Az e problémák kapcsán felmerülő kérdések gyakran tartalmaztak általánosabb, Isten természetének feltárására hivatott teológiai szempontokat is. E két kérdéskör (az egyes létezők természete és Isten természete) elvi problémáit sűríti magába a kor számára nagyon fontos dolgoknak, a *csodáknak*, a csodás tetteknek, csodás eseményeknek és jelenségeknek a kutatása.

A középkori ember érzelmekkel telített világban élt. A mindennapokat kitöltő mélyen átélt érzelmek – áhítat, kegyetlenség, tisztelet, arcátlanság, reménytelenség, féktelen jókedv és bánat, gőg, alázat, irigység, félelem voltak a kor jellegzetes érzelmei –, kétségbeejtő kavargásában a *hit* nyújthatott némi *bizonyosságot*. Nem pusztán a vallásos képzetekben való hitről van szó persze. A

¹¹ A *Corpus Juris Civilis* a római jognak a VI. században összefoglalt gyűjteménye. Gyakran használták társadalmi jelenségek értelmezésére.

¹² Ezt a részt korábban említett dolgozatában Needham idézi a *Corpus Juris*ből.

hit általánosabban értendő, inkább úgy, mint valami elvont általános érzélem, érzelmi állapot, orientáció vagy beállítódás, ami általánossága és elvont jellege miatt képes nyújtani egy érzelmekkel megközelíthető és elérhető bizonyosságot. (Pár száz évvel később a tudásban bizakodnak majd hasonló céllal az emberek.) A korszak szörnyűségekkel teli történetéből könnyű megérteni az emberek végletes kiszolgáltatottságán alapuló áhítóaszt valaminő biztonságra. A hiszékenység magas foka, a hit sóvárgó akarása világosan mutatja ezt az igényt. Figyeljük meg Tertullianus (kb. 150–225) szavait:

„Keresztre feszítették Isten fiát, ez nem szégyen, mert szégyellni kell. És meghalt Isten fia, ez azért hihető, mert képtelen. És eltemettétvén feltámadt, ez biztos, mert lehetetlen.”¹³

A középkori ember számára a csoda a mindennapok része, méghozzá nélkülözhetetlen része, hiszen befogadása igénybe vette, s ébren tartotta hitét, s így életközélemben tartotta a bizonyosságot. A bizonyosságot, hogy a látható világ szörnyűséges rendje csak látszat, bármikor eltérhetünk tőle, ezer jele van a nagyszerűségnek, magasztosságnak, szépnek! A bizonyosságot Istenben, a királyban, az egyházban, a sorsban, a törvényben, az emberben – kinek miben.

Felmerül persze a kérdés: miként kapcsolódik mindez a természeti törvény problémájához? Egyáltalán, ha a korszak emberében a hit uralkodott az élet minden vonatkozásában (s ekként természetesen, a tudás felett is), vajon milyen viszony lehet a hit és a tudás, a hit és a tudáshoz tartozó törvények között, vagy netán vannak a hitnek is törvényei? Ennek a sokféle ágazó kérdéskörnek csak egyik vonulatával foglalkozunk most, nevezetesen azzal, hogy vajon törvény szerint történnek-e a csodás események?

Bizonyos, hogy a csodák természetének kérdése nagy jelentőséggel bírt a korszak gondolkodói számára. A különféle filozófiai, természetfilozófiai irányzatokhoz tartozók persze eltérő megközelítéseket alkalmaztak.

Az *arisztotelianus* világképbe nem illeszthetők be a világ természetes rendjével abszolút módon szembenálló események, folyamatok. Minden, ami van, valahogyan természetesen van. A természetesség nem abszolút érvényű egy adott dolog vagy jelenség vonatkozásában, hanem viszonylagos. Ha valami nem felel meg „saját” természetének, mert hibás, szokatlan, vagy romlott, s ebből a szempontból természetellenes, akkor más szempontból még lehet természetes, s így az egész természettel mégis összhangban marad. Például egy elhibázott ércszobor ekkor is ércből való, egy ötlábú borjú továbbra is természetes folyamatok eredményeként születik, stb. Eszerint a felfogás szerint nyilván a csodásnak tekintett események is beleilleszkednek egy univerzális természeti rendbe, s ebből a nézőpontból természetesnek mutatkoznak, csodák abszolút értelemben tehát nincsenek. Az is nyilvánvaló, hogy a mozdulatlan mozgatónak, az első oknak, szóval egy ilyen fogalmi keretben elképzelhető Istennek nincsen közvetlen befolyása a csodásnak tekinthető folyamatokra.

A *sztóikus* felfogástól is idegen csodák feltételezése. A világ egységes, rendjét nem lehet felforgatni. Hogyan volna elképzelhető az, hogy az isteni természet saját akaratának érvényesülését akadályozza, vagy felfüggeszse? Más tényező pedig végképp nem befolyásolhat semmit.

¹³ Idézi: Friedell E.: *Az újkori kultúra története I. Középkor, pestis, misztika* (Holnap Kiadó, Budapest, 1989), 115. o. Senki se csodálkozzon napjaink hasonló gondolatmenetein! Ugyanazon okokból ma a hit (jelentős részben a vallásos hit) reneszánsza dívik.

A világ rendjét megszabó szükségszerűségek egyértelműen determinálnak minden eseményt és folyamatot. Más elvek alapján jutnak egészen hasonló következtetésre a *démokritoszi* tanítások követői.

Az igazán érdekes és a korszak világfelfogásában sokáig domináló elképzeléseket a *platonista-neoplatonista* hagyományokra alapozó *keresztény* gondolkodóknál találhatjuk meg.

A Biblia könyveiben szerepet játszó szokatlan események (égő csipkebokor, a tenger kettéválása, Bálám szamara, stb.) tulajdonképpen nem tekinthetők csodáknak, hanem inkább isteni jeleknek vagy jelzéseknek. Ahhoz, hogy csodáról beszélhessünk, szükségünk van a világban zajló folyamatok normális, szokásos, természetes rendjére vonatkozó elképzelésre. A csodás dolgok csak mint ezektől eltérők vehetők észre. Csodás és természetes tehát csak *együtt* értelmezhetőek.

Philón (i. e. 25 – i. sz. 50) a sztoikusok természettörvény fogalma alapján kialakított egy hosszú ideig használatos fogalmi keretet. Eszerint a természeti törvények Isten *parancsai*. A természeti létezőknek *engedelmeskedniük* kell eme parancsoknak, ezáltal lesznek természetessé. Mindazonáltal Isten alkalmasint, például jelet akarván adni, mást is parancsolhat. A szokásos rendtől való eltérés, a csoda, így Isten akaratából, az \S külön parancsára, vagy korábbi, a természetességet előíró parancsát felfüggesztő újabb döntésén múlik. Philón elképzelhetőnek tartja azt is, hogy valami csak a korlátozott tudású, Isten parancsát nem ismerő emberek számára tűnik csodának, holott Isten nem nyilvánítja benne ki külön akaratát. (Isten valódi akaratának kifürkészése persze végeérhetetlen teológiai tanulmányokat tesz lehetővé.)

Természetes és csodás tehát: Isten *szokásos és rendkívüli parancsa* szerint való. Ám, ha a parancsok értelmezése nem mindenki számára nyilvánvaló, megjelenik az a lehetőség, hogy adott esetben egy szokatlan dolgot, egy kellemetlenkedő létezőt Isten valódi parancsával való szembeszegüléssel vádoljanak, s így méltónak tartsanak a pusztulásra. A tojást rakó kakas, az ötlábú borjú elleni inkvizíciós indíttatású perek világa köszönt be. És az állatperek még a kedvezőbb változatok. Hasonló okokból tiltották a tudományos kísérletezést is. A kísérletező, azzal, hogy megváltoztatja a természetes szituációt, tulajdonképpen beleavatkozik az isteni parancssal definiált természetes rendbe, s ilyenformán ellenszegül érvényesülésének, illetve isteni pozícióba tolja fel magát. Ez Isten elleni vétek, üldözendő. Így az olyan tudományos aktivitás, ami nem tudott megenni kísérletezés nélkül – mint például az alkímia – tiltott, titkos tevékenységként folyhatott csak.

Hasonló nézeteket képviselt Tertullianus is. \S azonban a hangsúlyt Isten abszolút mindenhatóságára helyezi, semmi sem korlátozhatja az \S akaratát. A csodákban, a nyilvánvalóan természetellenesben éppen ez az igazi isteni tulajdonság, a *korlátatlan akaratnyilvánítás* jelenik meg. A csodás nála a természetes fölötti, uralmi helyzetbe kerül, s ezzel elveti, illetve kétségbe vonja a természeti szféra autonómiáját is.

Alexandriai Kelemen (150–211) és Órigenész (185–254) éppen ezért inkább a *természetes és természetfeletti* fogalmakkal próbálkoznak. A természetes szférában a természettörvények működnek, míg a természetfeletti, a csodák szférájában Isten akaratát nyilvánul meg. Isten hatalma korlátozott, de csak saját tulajdonságai által. Éppen ez mutatja tökéletességét, tudniillik, hogy korlátai is hozzá tartoznak. Nem képes ugyan meghalni – ámbár sok száz év múltán Nietzsche másként látta –, de csakis a rossz és a tökéletlenség tulajdonságainak hiányában. Isten a transzcendens, a természettől elkülönülő, a felette álló létező.

Augustinus (354–430) szerint az egész természet, mint Isten műve csoda. Így ebben az értelemben minden természeti jelenség csodálatos. Ami az egyes jelenségeket illeti, azok

legfeljebb a természet ismert folyásával lehetnek ellentétesek, s tűnhetnek csodának, de nem a tulajdonképpen, általunk nem ismert törvényekkel irányított isteni természettel.

Lényeges változást figyelhetünk meg a XII–XIII. században a skolasztika arisztotelianus, averroista irányzatának kifejlődésével. Ekkor már többen is problematikusnak látják Isten abszolút mindenhatóságának védelmezését, és a világ egyes szféráit megpróbálják kivonni Isten közvetlen hatalma alól. Logikai, fizikai, sőt erkölcsi szükségszerűségek jelennek meg önálló hatókörrel, Isten közvetlen befolyásától mentesen.

Elterjed a *kettős igazság* felfogás: a hit igazsága mellett a gondolkodás által szerzett ismeret is lehet igaz. Mindezek a természeti szférának Isten közvetlen uralma alól való felszabadításával járnak, s egyúttal azt is jelentik, hogy a természet sajátos törvényeit már nem szükséges, mások szerint nem is lehetséges Isten közvetlen parancsaként értelmezni.

Aquinói Tamás (1224–1274) még arról beszél, hogy a „természet egészének minden mozgása és cselekménye az örök törvénynek van alárendelve”, s így a csodáknak is vannak okai. Az örök törvény Isten bölcsességének egyik típusát képviseli. Ez Istenben eleve adott, s ezen keresztül gyakorolja hatalmát a természeti szféra felett. Noha, híres gondolata szerint a filozófia a teológia szolgálóleánya – vagyis a tudás kiszolgálja a hitet –, mégis a kettős igazság valaminő érvényesülésének szellemében erőfeszítéseket tesz Isten létezésének bizonyítására is. Ez a törekvése összhangban van ama véleményével, hogy Isten nem hozhat létre logikai ellentmondást. Az ezen a problémán való elmélkedés eredményeképpen a logikai szféra is kikerülhet Isten uralma alól.

Határozottabban fogalmaz Brabanti Sieger (1240–1284), aki szerint „Isten nem képes felfüggeszteni a létezők természetét”, sőt azt is mondja, hogy „Isten nem teremthetett volna valamely másfajta világot”. Világos, hogy csodákról beszélni egy ilyen felfogásban értelmetlen volna, a természeti szféra pedig már nagymértékű autonómiával rendelkezik.

Isten hatalmának korlátozása persze nem ment komoly küzdelmek nélkül. Az arisztotelianizmus sok elemét többször is hivatalosan bírálták, illetve terjesztésüket tiltották az egyházi hatóságok, amint korábban említettük 1210-ben, 1231-ben, 1255-ben, és 1277-ben is.

Mindez azonban nem tudta feltartóztatni a természetről való gondolkodás szekularizálódásának folyamatát. Kicsivel később Buridan (1300–1358) már arról beszél, hogy a természetfelfogásnak el kell tekintenie a csodák lehetőségétől, továbbá, hogy Isten és a természet viszonyában Isten csak „rendes” hatalmát gyakorolja, a rendkívülit nem.

A természetes és csodás viszonyának alakulását végiggondolva tehát azt mondhatjuk, hogy amíg kezdetben a természeti törvényekkel szembenálló, vagy felettük álló csodákban vélték felfedezni Istennek a természetben való jelenlétét, később már a vizsgálódó, elmélkedő ember számára is felfogható természeti törvények hordozták Isten akaratát. A régebbi korokban Isten korlátlan úrként parancsolhatott, a természeti létezőknek a feltétlen engedelmesség szerepe jutott. Ezzel szemben a XIII–XIV. századi világfelfogás szerint a természetes objektumok sajátos természete is megnyilvánulhat, és Isten figyelembe veszi hatalmának gyakorlása során ezeket az összefüggéseket is.

3. Társadalom és természet. Természetjog és természeti törvény

Társadalom és természet a középkori gondolkodásban sok szempontból elválaszthatatlan területek voltak. Ha mégis megpróbálkozunk különválasztásukkal azt kell látnunk, hogy helyzetük nagymértékben hasonló volt: mindkét szféra Isten hatalma alatt állt, mint az \varnothing állandó tevékenységének terepe, parancsainak, törvényeinek alávetett birodalmak. A bizonytalan elválaszthatóság, és a világban elfoglalt hasonló helyzetük alapján érthető, hogy hasonló fogalmi

szerkezetek analóg működés módját fedezhetjük fel mindkét területen. Nincsenek lényeges különbségek természeti és társadalmi objektumok, folyamatok, illetve viszonyok között. Sok dologban tükröződik mindez, de egyik legfontosabb megnyilvánulása a társadalom működését értelmező *természetjog* és a természet működését értelmező *természettörvény* fogalmi *megkülönböztethetlensége*.

Ezeket az összefüggéseket illusztrálendő, talán érdemes röviden felidézni a természeti törvény fejlődésével kapcsolatba hozható társadalmi folyamatokat. A következő érdekes párhuzamokat lehet megfigyelni:

A természeti törvény fejlődésének előtörténetében oly fontos szerepet játszó sztoikus tanítás a mindent átfogó egyetlen törvényről a Nagy Sándor után kialakuló *birodalmak* korában, az akkoriban kívánatos és érvényes társadalomszervezési modellt tükrözi vissza. Az egy – alkalmasint elérhetetlenül távolinak tetsző – központból, az önkényúr által megszabott egységes törvények szerint irányított birodalmi államgépzet, s a kérlelhetetlen, univerzális, isteni törvényeknek kiszolgáltatott természet azonos működés módja teljesen nyilvánvalónak látszik. (Hasonló ideológiai háttérrel fedezhetünk fel a korábbi zsidó és babiloni elgondolások mögött is.)

A középkori államszervezet hierarchikus marad ugyan, ám lazábbá válik. A hűbérurak hatalma, tekintélye mindazonáltal visszautal a hűbéri hatalom isteni eredetére, ugyanakkor sokszor csak kiváltságok, kegyek, *privilegiumok* adományozásában nyilvánul meg. Ez a gyakorlat kétségtelenül emlékeztet Isten és a csodák kapcsolatára.

A felbomlóban lévő feudális állam arra kényszerül, hogy hatalmát ismét megszilárdítsa. A XVII. században Európa szerte az abszolutizmus térhódítását látjuk, ahol újból előtérbe kerül az *egyetlen* racionális törvényhozó uralkodó eszméje. Csakhogy időközben a világ alapvető egysége megbomlott. Az egységes egészből *önállóságra* igényt tartó területek válnak ki. Így egy törvény csak az egyes, önállóságra igényt tartó szférákon belül marad érvényes, elveszíti abszolút univerzalitását. Különválnak az egyes szférákra jellemző törvényfajták, így a természeti és társadalmi törvények is. Ahogyan Suarez, egy spanyol teológus megjegyezte 1612-ben:

„... a nem eszes dolgoknak, valójában nem lehet törvényük, és nem képesek az engedelmségre sem. Ezeknél az isteni hatalom működését és a természeti szükségszerűséget nevezik metaforikusan törvényeknek.”

A természet Isten tevékenységének tárgya helyett, egyre inkább mint az emberi tevékenység tárgya szerepel. Ez a felfogás felértékeli a konkrét tetteket, a tevékeny embert, az álmodozó, spekuláló, szemlélődő rovására. A tudományos tevékenység is átalakul: a kísérletezés immár visszavonhatatlanul bevonul a tudomány eszköztárába. Isten csak létrehozta a világot, de később már nem avatkozik bele a dolgok folyásába, a konkrét természetalkító munkát immár az ember végzi. Az ember maga akarja uralni létének természeti feltételeit. Isteni szerepre készül. A modern kor polgára el is éri majd ezt a célt, legalábbis abban a formában, hogy olyan „saját” világot gondol maga köré melynek mindenható ura, Istene lehet.

4. Tudomány és természet. A természettudományok törvényfogalmának alakulása

Milyen új elemekkel tudott hozzájárulni az újkor a természeti törvény fogalmához? Vajon ezen a téren is megmutatkozik-e a középkori nézetekkel való radikális szakítás, vagy itt inkább egy folyamatos átmenet tanúi lehetünk? Talán meglepő, de alighanem az utóbbi esettel van dolgunk.

Bármilyen erőteljesek és alaposak voltak az újkor gondolkodóinak skolasztikaellenes támadásai, sajátos módon, a természeti törvény problémáját közvetlenül alig érintették. A korszak legtöbb tudósa és filozófusa elfogadta azt a hagyományos álláspontot, hogy a világi szféra (a természet és a társadalom is) Isten által adott örök törvényeknek, az isteni gondviselésnek alávetetten működik. A vélemények jelentős megváltozását legfeljebb a gondviselésnek a jellegével és hatókörével kapcsolatban figyelhetjük meg. Talán azt is mondhatnánk, hogy a középkori világfelfogás racionalista kritikája inkább az isteni gondviselés (s így a természeti törvény) *jellegéhez* szólt hozzá, míg az empirista kritikai attitűd inkább a *hatókör* kérdésében volt hatékony. A korabeli tudományos munkákban e két szempont gyakran együtt szerepel s együtt határozza meg az adott tudós törvényfelfogását.

Kopernikusz (1473–1543) nem említ törvényeket, a világ olyan gépezetéről ír, amelyet a legjobb kézműves alkotott. Stevin (1548–1620) és Pascal (1623–1662) annak ellenére, hogy ismerik, nem alkalmazzák a természeti törvény fogalmát.

Galilei (1564–1642) igazán sok fizikai törvényt ismert fel és írt le. Mindazonáltal érdekes, hogy (hasonlóan nagy elődjéhez és példaképéhez Arkhimédészhez) munkáiban nem törvényekről, hanem olyan *tételekről*, lemmákról, illetve korolláriumokról beszél, melyek *matematikai érvelések*be illeszthetők. Ez érvényes még az inga, vagy a szabadesést végző test mozgására, és a hajítás pályájára vonatkozó megállapításaira is. Galilei szerteágazó tudományos munkásságából a későbbi fejlődést leginkább befolyásoló gondolatnak ma azt látjuk, mely szerint a *matematika a természet* leírásának a megfelelő *nyelve*. A tudást ezen a nyelven kell kifejezni. (Az újkorban megfigyelhetjük, hogy a mennyiségi viszonyok tanulmányozása felértékelődik, s háttérbe szorulnak a pusztán minőségi szempontokat figyelembe vevő megközelítések. Mindez nagyon fontos összetevője a kialakuló modern világnézetnek; gazdasági, ideológiai, politikai szempontok ugyanúgy szerepet játszanak ebben a folyamatban, mint a tudomány igényei. A matematikai nyelvezet természetesen alkalmas arra, hogy mennyiségi összefüggéseket is tükrözzön. Mondhatjuk azt is, hogy Galileit elsősorban természetfilozófiai teljesítménye, így például ennek a változásnak a felismerése, tette képessé tudományos eredményeinek elérésére s a későbbi korok számára igazán fontos tudóssá.)

A természeti törvények vonatkozásában számára elsősorban az volt a fontos, hogy megtalálja a fizikai mennyiségek közötti helyes függvénykapcsolatokat. Galilei tehát, úgy tűnik, nem annyira a természeti objektumok és viszonyaik *sajátos*, csak rájuk jellemző, elidegeníthetetlen, belső meghatározottságait, hanem inkább a matematikai gondolatmenetekben *általánosan* érvényesülő logikai törvényszerűségeket vette igénybe a természeti összefüggések leírásához. Noha megállapításait nem nevezte törvényeknek, azok mégiscsak hordoztak a természeti törvényekre jellemző jegyeket; a vizsgált rendszer konkrét körülményei között *feltétlen érvényességgel* bírtak és *kiszámítható következményekre* vezettek. Adott esetben tehát alkalmasak voltak egy konkrét folyamat zajlására *magyarázatot* adni, s lehetséges kimenetelére érvényes és *ellenőrizhető jóslatok*at megfogalmazni.

Amint az jól ismert, Galileit rendkívül erőteljes támadások érték szemléletmódjának következményei, az egész világra való kiterjesztése miatt. Ez érthető, hiszen a korszak uralkodó világszemléletét lényegében még az ókori és középkori értékrend maradványai határozták meg. Nyilvánvaló, hogy ennek a helyzetnek a fennmaradása megfelelt a világi hatalommal is felszerelkezett egyház érdekeinek, hiszen ez az értékrend harmonizált az ő kulturális és politikai befolyását biztosító világfelfogással. De a kialakulófélben lévő új, polgári értékrend számos vonatkozásban kikezdte ezt a nézetrendszert. Mivel Galilei nézetei eme új rendbe illeszkedtek, s

ráadásul Itáliában keletkeztek s hatottak, állásfoglalásra készítették az egyházi ideológusokat. Az ennek nyomán kialakuló egyházi álláspont úgy próbálta meg asszimilálni az új tudományos nézeteket, hogy megpróbálta különválasztani a tudás ismeretelméleti és ontológiai oldalait, annak érdekében, hogy az ontológia vonatkozásában megőrizhesse befolyását, és egyúttal utat engedjen a tudomány fejlődésének és gyakorlati hasznosításának.¹⁴ Ez azt jelenti, hogy az egyház akarja eldönteni – például a Bibliával való összhang fenntartása érdekében – azt, hogy mi létezik, s mi nem, de megengedi az általa meghatározott valóságszférák *leírásának* különféle, esetleg egyre összetettebb változatait. Ennek szellemében az például hirdethető, hogy a Naprendszer heliocentrikus felfogása és leírása is *lehetséges*, de az nem, hogy ez volna a valóságos helyzet.

Ez az egyházi álláspont igen fontos befolyást gyakorolt az újkori gondolkodás fejlődésére egész Európában. Egyik hatásaként azt láthatjuk, hogy a filozófiában is évszázadokon keresztül előtérbe kerülnek az *ismeretelméleti* kérdések, a módszer kérdései. Sok filozófus ma is tartózkodik az ontológiai kijelentésektől. Egy ilyen álláspont a természeti törvények esetében lehetővé teszi felállításukat és kimondásukat, de problematikussá teszi értelmezésüket. Az minden további nélkül elfogadható, ha továbbra is az isteni akarat – egyre komplexebb – leírásainak tekintjük őket, de sokkal nehezebb elfogadtatni e törvényeket olyanokként, amelyek a valóság elemeinek saját természetét tükrözik. Galilei – ahogyan korábban említettük is – általában nem ragaszkodott az utóbbi felfogáshoz. Nevezetes meghurcoltatása mégis egy ilyen kérdés körül forgott. Mindez nagy hatást gyakorolt kortársaira s az utókorra, s kétségtelenül hozzájárult – sok egyéb mellett – a természeti törvény fogalmának további fejlődéséhez is.

Az anglikán egyház álláspontja mérsékeltbbnek mutatkozott, továbbá Európa más tájain a reformáció tanai, Luther (1483–1546) és Kálvin (1509–1564) nézetei tettek szert befolyásra. Ebben a szellemi környezetben a tudományos gondolkodás is valamivel szabadabban fejlődhetett. E vallások esetében az egyes ember lényegében az egyházi hierarchia közbeiktatása nélkül, közvetlenül került kapcsolatba Istennel, illetve a Bibliával, s a számára fontos értékeket ebben a közvetlen viszonyban, bizonyos mértékben önállóan választhatta ki. Az eleve elrendelés eszméje¹⁵ mindenre ráborította ugyan az isteni gondviselés palástját, de ez fejlettebb formában tartalmazta a katolikus egyház „ismeretelméleti engedményét”, hiszen minden tudós jelentős részben maga dönthetett az elrendelés értelmezéséről. A Bibliával való foglalkozás maga után vont kritikai analízisét, az ellentmondó részek összehasonlítását, s ennek következtében sokkal inkább lehetővé vált ontológiai kérdések felvetése, a *valóság* kritikai analízise, átértelmezése, kísérleti ellenőrzése is. Nézzük meg, milyen eredményekre vezetett ez az attitűd!

Mostani témánk szempontjából érdekes felidézni Kepler (1571–1630) álláspontját. Kepler, noha nem híres törvényeinek leírásakor, de időnként használta a természeti törvény kifejezést. Többféle értelemben. Egyrészt a fizikai mennyiségek között érvényesülő *viszonyokat, arányokat* nevezi törvényeknek, másrészt beszél olyan „geometriai törvényekről”, amelyek érvényre jutnak a természeti folyamatok esetében. Érdekes, hogy ebben a vonatkozásban Keplerre nem annyira Arkhimédész, hanem inkább Püthagorász eszméi hatottak. Vagyis úgy gondolja, hogy Isten a világot a „geometriai szépség” szabályai szerint rendezte el, s a természeti törvények valójában eme szépség isteni alapelvei. A tudós felfedheti a világ szép rendjét, a dolgok közötti viszonyokban érvényesülő *harmóniát*, s Istent mint e harmónia létrehozóját dicsérheti. Ez az álláspont igen közel

¹⁴ Érdekes elemzést olvashatunk erről a problémáról Lukács György: *A társadalmi lét ontológiájáról* című (Magvető, Budapest, 1976) monumentális művének I. és III. kötetében.

¹⁵ Lásd pl. Kálvin J.: *Az eleve elrendelésről* (Európa, Budapest, 1986).

esik egy deista felfogáshoz. (A deizmus nézete szerint Isten szerepe a világ létrehozására, megteremtésére korlátozódik, a későbbi folyamatokba nem avatkozik bele, hiszen a teremtésben adott törvények nyomán minden amúgy is rendelete szerint folyik.)

Történészek egybehangozón állítják, hogy a természeti törvény teljesen kifejlett fogalmát Descartes (1596–1650) használta műveiben először. Az *Értekezés a módszerről* című művében például így ír:

„... felfedeztem néhány törvényt is, amelyeket Isten olyképpen állapított meg a természetben, amelyeknek olyan fogalmait véste lelkünkbe, hogy kellő megfontolás után nem tarthatjuk kétségesnek pontos érvényesülésüket mindabban, ami van vagy történik a világban ...

... én csak erről beszélek: mi történnék egy új világban, ha Isten most valahol a képzelt terekben elég anyagot teremtene, hogy világot alakítson belőle; ha ennek az anyagnak különböző részeit különbözőképpen, minden rend nélkül mozgásba hozná, úgyhogy olyan zűrzavaros Káosz jönne belőlük létre, amilyent költő csak elképzelhet; ezután pedig nem tenne egyebet, mint hogy rendes közreműködését nyújtaná a természetnek, s ezt az általa megállapított törvények szerint engedné működni ...

Továbbá megmutattam, melyek a természet törvényei; s anélkül, hogy okoskodásaimat más elvre alapítottam volna, mint Isten végtelen tökéletességeire, igyekeztem bebizonyítani mindazokat a törvényeket, amelyekhez bármi kétség férhetne, s olyanoknak láttatni őket, hogy ha Isten több világot teremtett volna, akkor nem lehetne egyetlen egy sem olyan, amelyben e törvények ne lennének érvényesek.”¹⁶

Descartes ezek után felsorol néhány olyan területet (kozmológiai, csillagászati, fizikai, meteorológiai, geológiai, kémiai, élettani, stb.) amelyeken a fent jellemzett törvények érvényesülését észrevette. Másutt megtaláljuk az általa megállapított fénytörési törvénynek, a tehetetlenségnek, vagy a mozgásmennyiség megmaradása törvényének konkrét leírását is.

Mindezek alapján világos, hogy Descartes deista módon elfogadja a természeti törvények isteni eredetét, majd pusztán ezek működése révén értelmezi az egész világmindenséget. Ennek során nagy szerepet szán a velünk született, közvetlen isteni eredettel rendelkező, univerzálisan érvényes fogalmak összefüggéseiből logikus gondolkodással levezethető, bizonyítható törvényeknek. Descartes figyelembe veszi a kísérletezők konkrét tapasztalatait is, ám az egyes tapasztalat, akár az egyes természeti létező, csak a különböző mértékben általános igazságok alá besorolva igazolódik, így értelmezhető. Az is fontos, hogy Descartes sem elégszik meg a minőségi leírással, hanem mennyiségi összefüggések is foglalkoztatják. Sok példáját láthatjuk ennek mechanikai és optikai gondolatmeneteiben. Ő is komoly híve a matematika, a geometria ilyen értelmű alkalmazásának. A test és lélek dualizmusára vonatkozó nézetei, mechanicsztikus felfogása alapján az is érthető, hogy nála már különválnak a természeti és az emberi törvény fogalma. Descartes nagyon nagy hatású gondolkodó volt, így az is érthető, hogy törvényfelfogása világszerte elterjedt mindenekelőtt Spinoza, Huygens, Newton és Leibniz közreműködése révén. Az ő tevékenységükkel azonban itt már nem foglalkozunk.

¹⁶ Descartes R.: *Értekezés a módszerről*, Matúra bölcsélet sorozat 1. kötet (Ikon, Budapest, 1992), 53–54. o.

5. A természeti törvény természete

Az eddigiekben megpróbáltuk jellemezni a természeti törvény fogalmának európai fejlődését. Láthattuk, hogy az európai gondolkodás történetében fontos szerepet játszó zsidó, görög és keresztény hatások következtében évszázadokon át széleskörűen elfogadott volt az isteni törvényhozó eszméje. A törvényekben az isteni akarat megnyilvánulását látták. Ez az akarat érvényre jutott a világ minden szférájában, a természeti, társadalmi, emberi, anyagi, szellemi világban egyaránt. Semmi sem vonhatta ki magát az isteni uralom köréből, a létező dolgok 'kötelessége' egyszerűen az, hogy alávéssék magukat ennek a hatalomnak. Eme közös alávetettség egyfajta egységet létesít a világban, s világosan utal a törvényben kifejezett összefüggések általános, bármely szférában, bármely konkrét esetben értelmezhető, közös jellegére. Az egyes létezők, események, folyamatok nem közvetlen módon függenek egymással össze, hiszen amiatt, hogy valamennyi az isteni utasításokat követi, csak ezen az isteni közvetítésen keresztül működő, közvetett kapcsolataik vannak. Ha a halandó egyáltalán képes kifürkészni és felfogni az isteni akarat működését, akkor a törvények feltétlenül érvényesülő, örök, magasztos, eszmei jellegét veheti észre.

A törvény ilyen fogalmának s az ezzel a fogalommal kapcsolatba hozható gyakorlatnak fontos szerepe volt a középkori társadalmak életének szervezésében, működésében. Így érthető, hogy a feudális társadalmi struktúra átalakítását eredményező küzdelmek nem hagyták érintetlenül a törvényfogalmat sem. A társadalom-átalakító harcok egyik következményeként az isteni és emberi, az égi és földi szférák közé még sok, relatív önállósággal rendelkező szférát iktattak, ezzel a világkép némileg pluralizálódott, a létszférák száma nőtt, a hatalom megosztottabbá vált. Ebben a folyamatban fokozatosan különvált a természeti és társadalmi szféra is, s kialakultak a külön szférákra vonatkozó sajátos törvényfajták, így a természeti törvény is. Mindazonáltal a sok évszázados történet következtében ez a természettörvény fogalom hordozza az isteni törvénykezés, illetve a társadalmi és erkölcsi törvények jellegzetes vonásait.

Hasonló összefüggéseket találunk, ha felidézzük az korabeli kínai gondolkodók jellegzetes álláspontját.¹⁷ Ott is az istenségre vonatkozó elképzelések és a – nyilvánvalóan eltérő – társadalmi szerkezet alakította a törvények, s így a természettörvény fogalmát. A jelentősen különböző körülmények azonban az Európában létrejövő képest egészen különböző eredményre vezettek. Az ókori kínai filozófiában nem lehet találkozni a természeti törvény fogalmával, sőt a korszak gondolkodói gyakran éppen azt hangoztatják, hogy nincsen értelme általános törvényekről beszélni, hiszen a konkrét körülmények mérlegelése segíthet megérteni a dolgot, a konkrét körülmények pedig minden esetben mások és mások. A Kínában kialakított istenkép nem teremtőt, nem személyt, nem törvényhozót ábrázol, így nem is lehet olyasminek az alkotója, mint a természeti törvény. A későbbi fejlődés – nagyjából az előzőekben áttekintett európai fejlődéssel egyidőben egy olyan világképet alakít ki, amelyben a létezők együttműködése nem egy felsőbb lény parancsának engedelmességgel történik, hanem amiatt, mert mindannyian a nagy kozmikus egésznek, abba beleilleszkedő részei, és ebben a beilleszkedésben saját belső természetük parancsát követik. A világ így egy organikus, dinamikus egész lesz, mintázatok és összefüggések szövevénye, melynek elemei úgy kapcsolódnak egymáshoz, mint a háló szemei. De ennek a hálóknak nincsen készítője, nem külső parancsra szövődik. Az egész rendszer működése titokzatos, az ember számára lényegében megfejthetetlen, nincsen semmi értelme olyanféle összefüggéseket

¹⁷ Needham J.: Az emberi törvény és a természeti törvények, *Filozófiai Figyelő* VI. (1984), 79–100. o.

keresni, melyeket egy végtelenül racionális lény behelyezett, mint akaratának hordozóit, a természetbe. (A társadalmi összefüggéseket csak jelezni tudjuk: az efféle dolgok bizonyára alapvetően fontosak voltak a hatalmi harcoktól sújtott, bürokratizálódó, hatalmas kiterjedésű kínai birodalom embere számára.) Európai értelemben vett természeti törvény fogalom tehát Kínában nem alakult ki.

Az európai tudományos fejlődés fontos következménye a természet leigázásának programja. Ez a XVII. századi gondolat a természeti törvény európai fogalmában már benne van. „Mindössze” annyit kell változtatni, hogy Isten helyét az emberrel kell betölteni. A természetre vonatkozó tudással felfegyverzett ember korlátlan úrnak érzi magát, s újabb és újabb parancsait sorolja. És nem is sikertelenül. De talán nem is sikeresen. Hiszen – eléggé fájdalmas tapasztalat – Isten se tudta csak a jót világra hozni, s a rosszat, a kedvezőtlent, a halált, a bűnt távoltartani. Nem sikerülhetett ez a modern kor emberének se: a racionalításra, a szükséges törvények ismeretére épülő modernitás világa összedőléssel fenyeget: ökológiai katasztrófák és szörnyű társadalmi kataklizmák ingatják. A nem kívánt eredmény alighanem azzal függ össze, amit a kínaiak hangoztattak annakidején: legyünk figyelmesebbek, hagyjuk a dolgokat maguktól világgá szerveződni, hiszen csak ronthatunk a dolgon, mivel azt hisszük, hogy minden szempontot figyelembe véve döntünk, holott ez gyakran lehetetlen, vagy kétséges. Több alázatot és kevesebb erőltetést, ha lehet. Vagy legalább másféle törvényeket, olyanokat, amelyekben kifejeződik az egyes dolgok saját természete is, s e természet nem kizárólag szenvedő, az általános hatalmát elszenvedő lehet, hanem rendelkezik valamiféle „hatalom” vonásaival is. Ha már nem szabadulhatunk meg a hatalmi szempontoktól, kérdés, hogy kereshetünk-e „demokratikusabb”, plurálisabb vagy „anarchista” jellegű törvényfogalmakat? A válasszal alighanem várni kell még néhány száz évet.

E) Összegzés

Az antik tudományos örökség hosszabb ideig veszni látszott, az európai társadalmak fejlődése valamiféle nem-tudományos értékrend megvalósításának az irányába indult el. Ezekben az évszázadokban azonban az arab birodalom filozófusai és tudósai kerültek abba a helyzetbe, hogy megőrizhették az antik tudomány legtöbb eredményét. A görögök tudománya a középkor végére jutott végleg vissza Európába s mintegy ezeréves pihenés után úti előkészületeket folytat, készül új feladatainak megoldására.

Irodalom

- BALÁZS, L. *A kémia története*. Gondolat, Budapest. 1974.
- BERNAL, J. D. *Tudomány és történelem*. Gondolat, Budapest. 1963.
- BYNUM, W. F., BROWNE, E. J., és PORTER, R. (eds). *Dictionary of the History of Science*. Macmillan, London. 1982.
- CLAGETT, M. *Greek Science in Antiquity*. Abelard-Schuman, New York. 1955.
- COLLINS, R. *The Sociology of Philosophies. A Global Theory of Intellectual Change*. Harvard U P, Cambridge Mass. 1998.
- DELUMEAU, J. *Reneszánsz*. Osiris, Budapest. 1997.
- DIJKSTERHUIS, E. J. *The Mechanization of the World Picture*. Oxford U. P., London. 1961.
- EISENSTEIN, E. L. *The Printing Press as an Agent of Change, vol. I-II*. Cambridge U. P., Cambridge. 1979.
- FEBVRE, L. és MARTIN, H.-J. *The Coming of the Book*. Verso, London. 1997.
- FLOISTAD, G. és KLIBANSKI, R. (eds). *Contemporary Philosophy vol. 6, Part I-II*, Philosophy and Science in the Middle Ages. Kluwer, Dordrecht. 1990.

- FRIEDEL, E. *Az újkori kultúra története I. Középkor, pestis, misztika*. Holnap, Budapest. 1989.
- FRIEDEL, E. *Az újkori kultúra története II. Reneszánsz és reformáció*. Holnap, Budapest. 1990.
- FÜLÖP, Zs. *A bölcsék köve*. Műszaki, Budapest. 1957.
- GRANT, E. *A Source Book in Medieval Science*. Harvard U. P., Cambridge, Mass. 1974.
- GRANT, E. *Physical Science in the Middle Ages*. Cambridge U. P., Cambridge. 1977.
- GRANT, E. *Studies in Medieval Science and Natural Philosophy*. Variorum reprints, London. 1981.
- GRANT, E. *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages*. Cambridge U P, Cambridge. 1996.
- HALL, A. R. és Hall, M. B. *A Brief History of Science*. Iowa State U. P., Ames. 1988.
- HUIZINGA, J. *A középkor alkonya*. Helikon, Budapest. 1982.
- KAMPIS, Gy., Rédei, M., Ropolyi, L., Szegedi, P., Székely, L., Szigeti, A., Szilágyi, L., Vinkovics, M., és Zágonyi, M. *Előadások a természetfilozófia történetéből (Egyetemi jegyzet)*. ELTE TTK; Budapest. 1997.
- KOMJÁTHY, A. *A tudás fája*. Egyetemi Nyomda, Budapest. 1947.
- LINDBERG, D. C. (ed.). *Science in the Middle Ages*. U. of Chicago Press, Chicago. 1978.
- LINDBERG, D. C. (ed.). *The Beginnings of Western Science*. U. of Chicago Press, Chicago. 1992.
- NASR, S. H. és LEAMAN, O. (eds). *History of Islamic Philosophy, Part I–II*. Arayeh Cultural Ins., Tehran. 1995.
- SIMONYI, K. *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest. 1978.
- TATON, R. (ed.). *History of Science. Ancient and Medieval Science from the Beginnings to 1450*. Basic Books, New York. 1963.
- TATON, R. (ed.). *History of Science. The Beginnings of Modern Science. From 1450 to 1800*. Basic Books, New York. 1964.
- TURNER, H. R. *Science in Medieval Islam*. U. of Texas Press, Austin. 1997.

IV. ÚJKORI FORRADALOM A TUDOMÁNY JELLEGÉBEN ÉS TÁRSADALMI HELYZETÉBEN. A MECHANIKAI VILÁGKÉP KIÉPÜLÉSE

A) Bevezetés

Szegedi Péter

A XVII. század óriási fordulatot hozott a tudomány történetében. Mint általában a fordulatok, természetesen ez sem előzmények nélküli. Az előzmények között tudományon kívüli – tehát társadalmi, gazdasági – és tudományon belüli tényezőket egyaránt találhatunk. A társadalmi hatások esetében nagy általánosságban az új típusú társadalom kialakulását jelölhetjük meg, konkrétabban pedig utalhatunk a technika rohamos fejlődésére, vagy akár a szellemi élet (pl. a vallási gondolkodás) radikális átalakulására, az emberek közötti érintkezés könnyebbé válására. Mindezek – és még sok más tényező – hatására megváltozott a tudomány társadalmi szerepe, a tudósok presztízse, növekszik a tudománnyal foglalkozók száma. Megszilárdulnak a tudománnyal kapcsolatos intézmények, vagyis az egyetemek, tudós társaságok, a levelezési, majd a folyóiratrendszer, a könyvkiadás.

Ha a tartalmi változást akarjuk jellemezni, akkor először arra kell utalnunk, hogy a gazdaság, a kereskedelem, a közlekedés, a hadviselés, a gyógyítás mindenütt jelenlévő igényein kívül az ókori és középkori természetismeret ellentmondásai, hiányosságai vezették a természet-tudósokat arra, hogy újra meg újra foglalkozzanak a bolygómozgások, a hajítások stb. problémáival. A fokozatosan létrejövő módosított ókori, majd új modellek végül gyökeres világgépi szemléletváltást hoztak létre. A folyamat közvetlen kiindulópontjaként Nikolausz Kopernikusz (1473–1543) munkásságát szokták megnevezni. Az emberiség önismeretének tényleges ugrása azonban inkább csak jó fél évszázaddal a jeles csillagász halála után következik be. A következő fejezetekben megpróbáljuk ezt a rendkívül érdekes és gyakran kerülőutakat használó történetet bemutatni. A történet főszereplői lesznek: a misztikus Johannes Kepler (1571–1630), a félig arisztotelianus, félig (tudományos) eretnek Galileo Galilei (1564–1642), a magának való Isaac Newton (1642–1727) és még sok más zseniális gondolkodó.

A kor és természetkutatása nemcsak új ismereteket hozott, hanem új stílust is. Már csupán a tudomány mennyiségi növekedése is kiváltott módszertani problémákat. Egyre komolyabb igény mutatkozott ugyanis a tevékenységek összehangolására, ami végül elvezetett a módszertan közös megalapozásához. Ennek kapcsán felemlítjük majd Francis Bacon (1561–1626) és René Descartes (1596–1650) egymást kiegészítő ötleteit.

A tudós közösség által egyre inkább elfogadott módszertan azonban nem valamiféle üres, formális keret. Már az ókori atomizmusban fellelhetjük egy mechanikai világgép alapelveit, amely itt és most uralomra jut. Legtudatosabb kezdeményezője talán az utoljára említett Descartes, betetőzője pedig Newton. Munkásságuk – és sok más kollégájuk tevékenységének – eredménye, hogy a különböző területeken dolgozó tudósok mind magukénak vallanak egyfajta előfeltevérendszer, a kuhni paradigmafogalomnak talán legtisztább megvalósulását. Ennek létrejötté az első tudományos forradalom, amely egyben a mai értelemben vett tudomány megszületése is. Ami ez után következik, az már a fejlődés normál szakaszának mondható: tökéletesítési törekvések egyfelől, modell-átültetési kísérletek több-kevesebb sikerrel másfelől. Látni fogjuk, hogy Robert

Boyle (1627–1691) például az anyagszerkezet kutatásában, J. O. de Lamettrie (1709–1751) az emberi szervezet felépítésében keresi a mechanikus modell alkalmazhatóságát.

Melyek a mechanikus természetkép főbb jellemzői?

Először talán monizmusára mutatunk rá, melynek földi és égi világ közé emelt évezredes falakat sikerült ledöntenie. Az égi és a földi világ – utóbbiba beleértve az élettelen és élő természetet egyaránt – ugyanazokból a fizikai-mechanikai objektumokból épül fel: testekből, vagyis szilárd, folyékony és gáznemű anyagokból, végső soron talán atomokból. Ezek minden állapotukban ugyanolyan jellegű mechanikai mozgásokat (hely- és helyzetváltoztatásokat) végeznek. Minden test képes a mozgásra, és viszont: minden mozgás mögött fizikai-mechanikai objektumokat kell gyanítanunk.

A mozgásokat – jelentkezzenek a valóság bármely területén – erők hozzák létre. Az erők okok, amelyek meghatározzák a világ (múlt és) jövőbeli állapotait. Véletlenek nincsenek, minden szükségszerűen történik. A természettörvények mindenhol ugyanolyanok, és nincs kivétel alóluk. A mechanikus felfogás tehát szélsőségesen determinista.

Ennek következtében is, az új természetkép optimista: a jelenségek megfigyelése és különösen a kísérletek elvezetik a kutatót az erőtörvényekhez, amelyek segítségével aztán vadonatúj és hasznosítható ismeretekre tehet szert. Ehhez a matematika szolgál eszközzel, hiszen a természet könyve a matematika nyelvén van megírva (e megfogalmazás Galileitől származik, de Descartes, Newton és mások is sokat fáradoztak azon, hogy kidolgozzák a megfelelő „fordítást”).

A mechanikus természetkép nagyon fontos eleme a matematikain kívül maga a mechanikai modell is. A paradigma Kuhn szerint mintákon, példákon keresztül terjed és érteti meg magát. A kor tipikus mechanikai modellje az óramű. A modell elterjedésével fokozatosan óraművé válik az élő szervezet, az ember és az egész világ is. Az így létrejött elméletek aztán vezérfonallá válnak nemcsak a tudományban, hanem azon kívül is. A newtoni óraművilág kialakulásához és széles körű elfogadásához valószínűleg nagyban hozzájárult a társadalom korabeli állapotának megfelelő korszellem. Most pedig a társadalom kezdi visszakapni mindazt, amit a tudományba befektetett.

E rész célja, hogy bemutassa ezt a természetképet, amely tehát a XVII. században keletkezett, de hosszú ideig (legalább kétszáz évig) döntő befolyással volt a természettudományokra, sőt, nemcsak azokra. A következőkben a (nem szigorú) kronológián alapuló tematikus sorrendben tárgyaljuk a mechanikus természetkép kialakulásának folyamatát és kiterjesztésének-kiteljesedésének főbb állomásait, de foglalkozunk a módszertani kérdésekkel is.

B) A csillagászat története Ptolemaiosztól Keplerig

Székely László

1. Bevezetés

A Római Birodalom bukását követően a görög tudományra és kultúrára, s ezzel Ptolemaiosz rendszerére Európában nagyjából feledés várt, melyben nem annyira a birodalom bukását okozó barbárok „barbárság”-a, mint inkább a koraközépkori kereszténység szellemi merevsége,

sokszor fanatizmusa játszott szerepet. Igen kifejező, hogy Justinianus császár¹ (482–565) Platón közel 900 éven át működő Akadémiáját a görög filozófiai tanok barbárságára (értsd: nem keresztény voltára) hivatkozva záratta be, s a tragikus sorsú kiváló matematikusnőt, Hyphatiát, alexandriai Theón leányát sem a nomád horda, hanem a fanatikus alexandriai keresztények követték meg.

Ezekben az átmeneti, a szellem számára „sötét” századokban az arab kultúra volt az, mely megőrizte és ápolta a görög tudomány és filozófia kimagasló teljesítményeit, közöttük Arisztotelész filozófiáját és Ptolemaiosz csillagászati munkáit. Amikor Európában – elsősorban a nyugat-európai egyetemeken – a X–XI. században ismét föllendülésnek indul a szellemi élet, számos görög mű, így Ptolemaiosz Szüntaxisza is, arab közvetítéssel jut el a latin világba: nem véletlen, hogy ezen utóbbira mindmáig az arab *Almagest*² névvel szokás hivatkozni.

2. Az *Almagest* és a korabeli arab világ

Az *Almagest* arab életének részletesebb bemutatására itt nincs hely, csak a legfontosabb mozzanatokat említjük meg. Ezek közül az egyik jellegzetes tendencia az volt, hogy az arab csillagász-fizikusok – akik a filozófia, s így a „fizika” terén Arisztotelész követői voltak –, nem elégedtek meg a pusztán „matematika”-val, hanem Ptolemaiosz rendszeréhez következetesen hozzárendeltek egy olyan vele ekvivalens szférastruktúrát, amilyennel már a görögöknél is találkozhattunk.³ Ezzel párhuzamosan részben filozófiai, részben gyakorlati megfontolásokból kísérleteket tettek az eredeti ptolemaioszi rendszer korrekciójára is, ám e próbálkozások egyetlen kivételtől eltekintve eredménytelenek maradtak. A Hold köreinek Ibn al-Satir⁴ általi módosítása volt, mely kiküszöböli azt a nagymértékű ingadozást, mely a Hold-Föld távolságot az eredeti ptolemaioszi elméletben jellemzi.⁵ Ez a módosítás később, a középkori Európában ismeretlen maradt, így nem tudjuk, hogy amikor Kopernikusz rendszerében hasonló korrekciót alkalmazott, újból fölfedezte-e ezt az egyszer már megtalált megoldást, vagy esetleg valamilyen forrásból már tudomása volt róla, s így az arab csillagász nyomán vezette be azt? Viszont Kopernikusz az eredeti arab forrást ismerve tudatosan használ egy másik arab eredményt, Naszireddin at-Tuszí⁶ (1201–1274) szintén csillagászati megfontolásokból megfogalmazott geometriai tételét, mely szerint

¹ Kelet-római császár, aki rendszerbe foglaltatta a római jogot, s ezzel a *Codex Justinianit*, mely még ma is az európai jogrendszerek alapjául szolgál. Nevéhez fűződik a Hagia Sophia templom építtetésének megkezdése is.

² „Al magest” = „a legnagyobb”.

³ Vö. Dreyer, J. L. E.: *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (Second Edition, Dover Publication, 1953), 257–260. o.

⁴ Arab csillagász. A tudománytörténészek e században fedezték föl, hogy a Hold mozgásának ptolemaioszi elméletét Kopernikusz megelégedve ugyanolyan módon korrigálta, mint később a lengyel csillagász.

⁵ Vö. Saliba, G.: A Medieval Arabic reform of the Ptolemaic Lunar Model. *Journal for the History of Astronomy* 20, Part 3 (October/1989), 157–164. o.; Roberts, V.: The Solar and Lunar Theory of Ibn ash-Shatir. *Isis* 48 (1957), 428–432. o.; Kennedy, E. S.: Late Medieval Planetary Theory. *Isis* 57 (1966), 365–378. o.

⁶ Arab csillagász, a ptolemaioszi rendszer kiváló szakértője, aki többek között deformálódott – ám végeredményben mégiscsak tökéletes körmozgásokból összeállítható – bolygópályák bevezetését javasolta. Nevezetes tételét, mely alapján oszcilláló pontot generálhatunk körmozgások segítségével, alkalmazta Kopernikusz is.

valamely $s/2$ sugarú kör kerületi pontja egy s sugarú kör átmérője mentén mozog, ha az előbbi kör az utóbbi belsejében gördül.⁷

Az arabok azonban nemcsak jól ismerték Ptolemaiosz rendszerét, hanem használni is tudták azt, s képesek voltak arra, hogy a rendszer alapján új bolygótáblázatokat készítsenek. Ugyanakkor megfigyelő csillagászokként is elsőrangúak voltak. Így nem véletlen, hogy amikor a csillagászzal személyesen is foglalkozó X. Alfonzó⁸, Kasztília királya új bolygótáblázatokat készített, ebben arab csillagászok is segítik. A táblázatok Alfonzó trónra lépésének idejében, 1252-ben készültek el, s a következő évszázadokban Európa-szerte használták őket.⁹

3. A skolasztika és Ptolemaiosz

A XIII. század második felében – elsősorban Albertus Magnus és Aquinói Szent Tamás tevékenységének eredményeképpen – Európa egyetemlein az arisztotelélianus filozófia jutott uralomra, s ennek nyomán Ptolemaiosz is csillagászati tekintéllyé vált. Ptolemaiosz rendszere és az Alfonzi Táblák ettől kezdve 300 éven keresztül szinte kizárólagosan uralták az európai csillagászatot, s ebben az sem okozott gondot, hogy az arisztotelészi szféraelmélet nyilvánvalóan ellentétben állt az excenterekkel és az epiciklusokkal (nem is beszélve az ekvánsokról). A skolasztika számára itt olyan kompromisszumos közvetítésre sem volt szükség, mint az arabok nem homocentrikus szféraelmélete: a skolasztikusok az arisztotelészi homocentrikus szférák „realitásában” nem kételkedtek, s a jelenségeket matematikailag visszaadó ptolemaioszi elmélet vele való ellentmondását azon dolgok közé sorolták, melyeket a véges és korlátozott emberi elme nem képes – vagy még nem képes – átlátni.

„... nem szükséges, hogy a kidolgozott hipotézisek igazak legyenek; még ha ezek a hipotézisek lehetővé teszik is a látszatok megőrzését, akkor sem fontos, hogy igaznak mondjuk őket, mert a csillagokat illető látszatokat talán más módon is meg lehetne őrizni, amit az emberek még nem értettek meg”

– írta például Aquinói Szent Tamás a „fizika” és a „matematika” viszonyának jól ismert problémájával kapcsolatban.¹⁰

⁷ Dreyer, id. mű: 268–270. o.; Bono, M. di: Copernicus, Amico, Fracastaro and Tusi's Device. *The Journal for the History of Astronomy* 26, Part 2 (May 1995).

⁸ X. Alfonzó vagy „bölc” Alfonzó (1221–1284), Kasztília királya, a tudományok, s ennek részeként az arab csillagászok pártfogója, aki nem csak intenzíven érdeklődött a csillagászat iránt, hanem ő maga is művelte e tudományt. Nevéhez fűződik az a mondás, hogy Isten helyében egyszerűbb rendszert gondolt volna ki a csillagvilágra.

⁹ Az arab csillagászat Ptolemaiosz rendszerének az arab csillagászaton belüli történetéről lásd pl.: Saliba, G.: A Medieval Arabic reform of the Ptolemaic Lunar Model; uő.: A Sixteenth-Century Arabic Critique of Ptolemaic Astronomy. in: *Journal for the History of Astronomy* 25, Part 1 (February/1994), 15–38. o.; uő.: Early Arabic Critique of the Ptolemaic Cosmology. in: *Journal for the History of Astronomy* 25, Part 2 (May/1994), 115–141. o.

¹⁰ Aquinói Szent Tamás *Commentaria in libros Aristotelis De caelo at mundo* című Arisztotelész-kommentárja II. fejezetének 17. pontja. A szöveget magyarul P. Rossi Galilei-esszéjének magyarul megjelent fordítása nyomán idéztük; in: P. Rossi: *A filozófusok és a gépek* (Kossuth, Budapest, 1975), 227. o.; A témával kapcsolatban lásd még: E. Grant: The Medieval Cosmos. *Journal for the History of Astronomy* 28, Part 2 (1997. május), 147–168. o., különösen: 154–158. o.

Bár a modern újkori természettudomány a skolasztikával harcolva nyerte el önidentifikációját, a skolasztika számos esetben – így főképpen a logikában és a mechanikában – előkészítette ezt a fordulatot. Az impetuselmélet pl. igen fontos volt a mechanika története szempontjából. Csillagászat-történeti szempontból pedig kiemelendő, hogy a skolasztikában újból megfogalmazódott a Föld forgásának tana (pl. Nicole de Oresme vagy másképpen Nicolaus Oresmius¹¹, francia skolasztikus matematikus és fizikus részéről, aki Lisieux püspökeként halt meg 1382-ben¹²), s logikai lehetőségként egyes skolasztikus gondolkodók foglalkoztak a világok sokaságának eszméjével is.

Az általános szellemi pezsgés által jellemzett, s a „valami új” megszületésére készülő XV. századi Európa – gondoljunk csak itt a századvégi földrajzi felfedezésekre, a következő századi reformációra, valamint Kopernikusz elméletére – horizontján belül természetesen a csillagászat, s így a ptolemaioszi rendszer körül is megélénkültek az események. Nemcsak arról volt szó, hogy a széles körben használt Alfonzi Táblák a század végére két és fél évszázadossá váltak, s ugyanakkor éppen erre az időszakra kerültek előtérbe a Juliánus-naptárral kapcsolatos problémák is. Ptolemiosz rendszere az arisztotelészi filozófiától való eltérése és belső „szépséghibái” miatt is újból a figyelem középpontjába került.¹³

Az Arisztotelész-Ptolemaiosz párossal jellemzett skolasztikus kozmológia és csillagászat első határozott revíziójával Nicolaus Cusanus (1401–1464) kardinális, német származású teológus és filozófus próbálkozott.

4. Cusanus

Cusanus¹⁴ szerint világunkban – mivel csupán teremtett világ – semmi sem lehet tökéletes: a tökéletesség csak Istennek, s Isten transzcendens birodalmának sajátossága. Ezért Cusanus kozmoszában a Hold fölötti kozmosz ugyanúgy romlandó, mint a Hold alatti világ. A világ teremtett, „másodlagos” voltából az is következik Cusanus számára, hogy sem a tökéletes körpályák és az egyenletes mozgások, sem a tökéletes nyugalom; sem a tökéletes gömbformák és a pontos középpontok nem jellemezhetik azt. Mindennek következtében a Föld nem lehet a világegyetem középpontjában, s ugyanígy nem lehet teljesen mozdulatlan sem; a bolygók pedig mozgásuk során nem követhetnek tökéletes pontosságú matematikai pályákat.

Cusanus egyúttal a világegyetem arisztotelészi végességét is tagadja: igaz tanítása szerint a végtelenség kizárólagosan Isten attribútuma, s ezért a világegyetem nem lehet végtelen. Azt azonban mégsem végesnek, hanem „meghatározatlan”-nak tekinti, s ennek megfelelően egyértelműen elveti az arisztotelészi határokat. Végül a Hold alatti és a Hold fölötti régió

¹¹ Oresme, Nikolaus (kb. 1321–1382): természettudományokkal, valamint társadalm- és gazdaságelméleti kérdésekkel foglalkozó középkori francia filozófus, 1377-től Lisieux püspöke.

¹² Vö. pl.: Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete* (3. kiadás, Gondolat, Budapest 1986), 144–147. o.

¹³ Vö. még pl. Grand, E.: *The Medieval Cosmos: Its Structure and Operation*, *The Journal for the History of Astronomy* 28, Part 2 (May 1997).

¹⁴ Cusanus (Nikolaus von Cusa, 1401–1464): német teológus, filozófus és matematikus, 1448-tól bíboros, 1450-től Brixen érseke. Teológiája és filozófiája – melyet befolyásolt a neoplatonizmus – számos ponton szakít a korát uraló arisztotelészi-skolasztikus teológiai-filozófiai tradícióval. Fő filozófiai témájú műve: *De docta ignorantia*. (Bár a filozófia történetében „Cusanus”-ként ismert neve, az angol és német lexikonok gyakran a „Nikolaus von Cusa” címszó alatt, az „N” betűnél tartalmazzák.)

egyneműsítésével kapcsolatosan megemlítendő még, hogy Cusanus azt is föltételezi, hogy a többi égitesten a Földhöz hasonlóan van élet.

Cusanus most ismertetett állításait csak általános fejtegetések formájában fogalmazza meg, s ezért bizonyos homályosság és kétértelműség jellemző rájuk. Annyi azonban bizonyos, hogy tévesek azok az értelmezések, melyek Cusanus kozmológiájában Kopernikusz napközéppontú rendszerének vagy Bruno kozmológiájának előfutárát látják. Cusanus világegyeteme valójában inkább egyfajta „lerontott”, „lefokozott” arisztotelészi kozmosz, ahol a Hold alatti világ romlandósága és tökéletlensége a Hold fölötti világot is jellemzi, aminek következtében az égi szférarendszer olyanná válik, mint egy rossz kézműves által készített konstrukció. Megmaradnak az arisztotelészi szférák, ám azok nem tökéletesek, csupán közelítőleg gömbök, s csak hozzávetőlegesen rendelkeznek középponttal. Mozgásuk csak közelítőleg homocentrikus: forgásuk közben ingadoznak, „lötyögnek”; felszínük csak körülbelül követi a körpályát, sebességük csak megközelítőleg egyenletes: mint egy rosszul összeszerkesztett, pontatlan, „kotyogó” csapágyé. Ugyanígy, a Föld valahol középen van ugyan, de nem „igazán” középen, hanem valahol a hozzávetőleges, elmosódott középponti régió környékén, s itt végez valamiféle, közelebből pontosan meg nem határozott, szabálytalan, ingadozó mozgást.

Nem derül ki egyértelműen, hogy Cusanus pusztán teológiai megfontolások alapján jutott-e el a kozmosz ilyen képéig, vagy esetleg az arisztotelészi és a ptolemaioszi leírás eltérése, illetve a bolygóablázatok és a megfigyelt bolygómozgások közötti eltérések is motiválták erre? Ez a koncepció mindenesetre mind a két említett kozmológiát aláássa, hiszen éppen közös előfeltevésüket, a tökéletes, matematikai kozmosz –, illetve a tökéletes, matematikai csillagvilág – tézisét tagadja meg. Ugyanakkor azonban tagadása partikuláris: annyit ugyanis elismer, hogy az égitestek mozgása, illetve a világegyetem fölépítése hozzávetőlegesen, tökéletlenül matematikai struktúrákat – körpályákat, homocentrikus gömböket stb. – követ. Ezzel pedig egyrészt választ ad arra, hogy miképpen lehetséges mégis egy precíz matematikai rendszer segítségével közelítőleg reprodukálni a tökéletlen égi mozgásokat, s másrészt az is következik belőle, hogy e reprodukció szükségképpen mindig csak közelítő lehet: nem a fölhasznált matematikai rendszer pontatlansága miatt, hanem éppen ellenkezőleg: mivel a matematikai leírás tökéletes és pontos struktúrákat tartalmaz, még a Hold fölötti régió esetében sem ragadhatja meg a Cusanusnál teremtett voltából következőleg pontatlan és tökéletlen világot.

Cusanus kozmológiája tehát válasszal szolgál az Arisztotelész- és Ptolemaiosz-féle bolygóelméletek és a megfigyelt mozgások differenciáira, mégpedig oly módon, hogy ezeket az elméleteket Cusanusra hivatkozva az általa hamisnak tekintett közös előfeltevésre, a matematikai-geometriai értelemben tökéletes és harmonikus kozmosz eszméjére vezethetjük vissza. Cusanus tanítását elfogadva ezért nincsen értelme a további kísérletezésnek a rendszerek finomítása, pontosabbá tévése érdekében: az ilyen próbálkozások a világegyetem, a kozmosz természetéből következőleg sohasem vezethetnek eredményre. Ezt figyelembe véve Cusanus koncepciója nemhogy nem készíti elő, hanem egyenesen elzárja a kopernikuszi rendszerhez vezető utat.

5. Kísérlet a homocentrikus szférák elméletének megmentésére

Cusanus-szal ellentétes attitűddel közelítettek a bolygómozgások problémájához Girolamo Fracastoro¹⁵ (1483–1553) és Giovanni Battista Amici¹⁶ (?–1538), olasz csillagászok, akik Ptolemaiosz elméletét radikálisan elvetve ismét a homocentrikus szférák elmélete felé fordultak. Fracastaro ennek során rámutatott arra, hogy (a távolságingadozásoktól eltekintve) megfelelő számú homocentrikus szféra bevezetésével elérhető az epiciklusoktól megkívánt hatás, s ennek alapján 79 homocentrikus szférával kívánta Ptolemaiosz rendszerét helyettesíteni. Amici nem rögzíti le véglegesen a szférák számát, hanem úgy véli, azokat a bolygók mozgásának további megfigyelése alapján még bővíteni kell.

Mint a görög csillagászzal foglalkozó részben már utaltunk rá, a Nap és a Hold korongjának méretváltozásait, s a bolygók fényességváltozásait egy klasszikus homocentrikus szférarendszer önmagában sohasem adhatja vissza. Fracastaro és Amici ezen egy szellemes ötlettel segít: a Hold alatti régióban föltételeznek egy olyan szférát, mely a többi szférához hasonlóan átlátszó, ám anyagában inhomogén, s az e szféra által kiváltott optikai hatásokra vezetnek vissza a fenti jelenségeket.¹⁷

6. Kopernikusz

A megváltozott szellemi klíma, s e klímával összhangban a ptolemaioszi elmélettel szemben elfoglalt „aktív” – azaz nem egyszerűen csak befogadó, hanem elemző-kritizáló – attitűd elkerülhetetlenül ráirányította a figyelmet arra, is, hogy e rendszeren belül a Föld mellett a Napnak is kitüntetett szerepe van (így pl. az epiciklus-középpont és a rajta keringő bolygó által definiált egyenes mindig a Nap–Föld tengellyel párhuzamos, azaz a bolygó epicikluson való körmozgása mintegy követi a Nap föld körüli körmozgását). Ennek kapcsán elsősorban az osztrák Peurbach¹⁸ (1423–1461) és tanítványa, a német Regiomontanus¹⁹ (1436–1476) nevét kell említünk. Bár az utóbbi határozottan kitartott a Föld középponti pozíciója és mozdulatlansága

¹⁵ Veronai olasz matematikus-csillagász, 1501 és 1508 között a páduai egyetem logika tanára, majd Veronában él, ahol csillagászzal, orvostudománnyal és költészettel foglalkozik. Főleveníti és korszerűsíti a homocentrikus szférák ókori tanát. Ezzel kapcsolatos műve: *Homocentrica*. Giordano Bruno nagy becsben tartotta s párbeszédeiben gyakran szerepelteti, mint saját nézeteinek tolmácsolóját.

¹⁶ Velencei olasz csillagász, aki 1536-ban megjelent könyvében kísérletet tesz a homocentrikus szférák ókori elméletének modernizálására.

¹⁷ Dreyer: id. mű: 296–304. o.

¹⁸ Georg Peurbach: osztrák matematikus, csillagász és költő, Ptolemaiosz szakavatott ismerője. A bolygómozgásokat Ptolemaiosz nyomán tárgyaló műve a következő évtizedek legfontosabb tankönyve volt, melyet több mint 50 latin nyelvű kiadása mellett számos más nyelvre is lefordítottak. Ebben fölhívja a figyelmet arra, hogy az epiciklusokon történő bolygómozgások valamilyen módon kapcsolatban vannak a Nap mozgásával. Megkezdte Ptolemaiosz művének újrafordítását, melyet tanítványa Regiomontanus fejez be.

¹⁹ Müller Johannes Regiomontanus (1436–1476): német matematikus és csillagász, Ptolemaiosz rendszerének szakértő ismerője, művének Peurbach által megkezdett újrafordítását ő fejezi be. Már 12 éves korában bolygópályákat számol, 15 éves korában ő készíti el III. Frigyes császár menyasszonyának horoszkópját. Egy ideig Mátyás király udvarában is élt. Tycho de Brahe Regiomontanusnak az égi jelenségek napi parallaxisának meghatározására kidolgozott módszerét alkalmazta az 1572-es nova és az 1577-es üstökös megfigyelése során.

mellett, közvetve mégis befolyásolhatta Kopernikuszt azáltal, hogy Peuerbachot követve a Napnak a ptolemaioszi rendszeren belüli különös szerepét hangsúlyozta.²⁰

Mielőtt azonban Kopernikusz²¹ (1473–1543) felé fordulnánk, meg kell még említenünk egy kultúrtörténeti összefüggést. Miként ez ismeretes, a reneszánsz időszakában megváltozott az egyoldalúan arisztotelianus tradíció, újra fontosakká váltak Platón művei, s rajta keresztül föltámadt az érdeklődés a püthagoreusok iránt is. A későhellén és a római filozófiatörténet-írásban jellegzetes volt az a vélekedés, mely a püthagoreusok egyes képviselőinek napközéppontú kozmológiát tulajdonított, s Platón mellett elsősorban e források alapján vált ismertté a püthagoreus iskola. Kopernikusz nagy művének elején, az előszóban kifejezetten utal a püthagoreusokra²², s így joggal föltételezhetjük, hogy ez a püthagoreusokkal kapcsolatos vélekedés is szerepet játszhatott annak a szellemi pályávnak formálódásában, mely a napközéppontú rendszerhez elvezette.

a) *Kopernikusz élete*

„De mindenek középpontjában a Nap áll. Hiszen ki tette volna e fényt e csodálatos templomban más vagy jobb helyre, mint ide, ahonnan egy időben az egészlet megvilágíthatja? Így méltán nevezték őt egyesek a világ lámpásának, mások eszének, s megint mások uralkodójának. Triszmegisztosz a látható istennek nevezi, Szophoklész Elektrája a mindent látónak. Így kormányozza valóban a Nap, királyi trónján ülve, az őt körülvevő csillagok családját ...” (Kopernikusz: *Revolutionibus Orbium Coelistium*, 1. könyv, X. fejezet, 75. o.)

„E rendben tehát a világ oly csodálatos szimmetriájának lehetünk tanúi, s a mozgás és a pályák nagysága között oly szilárd, harmonikus összefüggésnek, melyet más módon nem lehetnénk meg.” (uo.)

Nikolausz Kopernikusz (latinosan: Nicolaus Copernicus) 1473. február 19-én született a Visztula-menti Thorn (Torun) városában „Niklas Koppernigk” néven. Tanulmányait Krakóban kezdte, majd olasz egyetemeken folytatta. 1506-tól haláláig, 1543-ig Frauenburgban élt, s itt vette kézbe utolsó napjaiban az égitestek körforgásáról írt nevezetes művének Nürnbergben kinyomtatott példányát.

Első pillanatban úgy tűnhet, s meglepetést válthat ki, hogy ez a kultúrtörténeti fordulópontot jelentő mű Frauenburgban, lengyel szerzőtől született meg – azaz távol Európa kulturális centrumától. Valójában azonban nem ez a helyzet. A skolasztika jelentős központja sokáig Párizs volt, s amikor a reneszánsz időszakában a kulturális és szellemi dominancia Itáliába tevődött át, a „szűkebb” értelemben vett tudományosságot képviselő tárgyak – így az elvont matematikai-csillagászati diszciplínák – fokozatosan a német egyetemeken találnak befogadást. Az a lengyel

²⁰ Vö.: Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete* 161., 170. o.; Dreyer: 289–300., 316. o.

²¹ Bár elsősorban a kopernikuszi fordulat fűződik a lengyel tudós nevéhez, a reneszánsz szellem hordozójaként sokoldalú gondolkodó volt, akinek pl. közgazdasági tárgyú írásai is említésre méltóak.

²² Vö.: Nicolaus Copernicus: *Die Kreisbewegungen der Weltkörper*. (De Revolutionibus Orbium Caelestium). Erstes Buch. (Akademie, Berlin 1959. latin-német kétnyelvű kiadás.) 4–5. o. Kopernikusz a kéziratban az első könyv végén is hivatkozik a püthagoreusokra, ám ezt a részt végül kihúzta, s így nyomtatásban nem jelent meg. Vö. id. kiadás, Alexander Birkenmajer 137. számú jegyzet. Vö. még: Bilinski, Br.: *Il pitagorismo di Niccolo Copernico* (Wroclaw, 1977).

terület, ahol Kopernikusz élt és alkotott, e német egyetemi régió vonzáskörébe tartozott. S éppen Krakkóban egy igen neves egyetem működött ekkor, ahol a matematikai és a csillagászati tudományokat különösen magas színvonalon oktatták. Kopernikusz tágabb otthona tehát a kor színvonalas természettudományos és matematikai-csillagászati kutatásainak egyik neves központja volt, s ugyanakkor a lengyel tudós itt megszerzett alapos matematikai tudását itáliai tanulmányai során kiegészíthette a kor filozófiájának – így az ismét az érdeklődés centrumába kerülő Platónnak és a püthagóreusoknak – megismerésével, s a filozófia oldaláról inspirációt kaphatott az égitestek körforgásának rejtélyével kapcsolatos töprengéseire.²³

b) *A Commentariolus*

Tanulmányai során Kopernikusz Európa egyetemein kapcsolatokra és bizonyos hírnévre tett szert, melynek következtében már évtizedekkel nagy művének megjelenése előtt elterjedt az a hír, hogy egy gyökeresen új csillagászati rendszer készül. Kopernikusz a nagy érdeklődésre tekintettel kibocsátott egy levél formájú – ma úgy mondanánk „kézirat” kiadású – rövid művet, az úgynevezett *Commentariolus*t, mely azután Európa-szerte ismertté vált.²⁴ Ez a mű nemcsak azért jelentős, mert arról tanúskodik, hogy már ekkor határozott formában előtte állt a napközéppontú bolygórendszer képe, hanem azért is, mert röviden megemlíti azt a motivációt, mely a Föld-középpontúság elvének föladására ösztönözte. A sokat emlegetett legendával szemben ugyanis ez nem az elmélet és a tapasztalat közötti eltérés – vagyis a bolygómozgások pontatlan reprodukciója – volt, hanem az eudoxoszi és a ptolemaioszi rendszer természetfilozófiai alapjaival függött össze. *Kopernikusz ugyanis Cusanus-szal szemben meg volt győződve arról, hogy az égitestek a püthagoreus és a platóni elvnek megfelelően tökéletes körpályákon, egyenletesen keringenek.* Ennek kapcsán pedig elgondolkodott azon, hogy ezek közül az egyik – az eudoxoszi – eleget tesz ugyan ennek az alapelvnek, ám nem alkalmas a jelenségek kellő hatásfokú megmentésére, a másik viszont – mely e vonatkozásban eredményesebb – megsérti az egyenletes körmozgás elvét az ekvánsok bevezetésével. Kopernikusz tehát szigorúbb, ortodoxabb módon értelmezte az egyenletes körmozgás követelményét, mint Ptolemaiosz, nem fogadta el a kibúvókként alkalmazott „ekvánsok”-at, s a ptolemaioszi rendszert *filozófiai szempontból* tartotta revideálandónak. A szerző célja az volt – fejtegeti a *Commentariolus*ban Kopernikusz –, hogy a körök új elrendezésével kiküszöbölje a ptolemaioszi rendszer e fogyatékoságát, s erre szolgál a napközéppontú rendszer.

c) *A Revolutionibus*

Kopernikusz nagy műve, a *De Revolutionibus Orbium Coelestium* Ptolemaiosz *Almagest*-jének fölcsúztatását és stílusát követi.²⁵ Ennek során Kopernikusz rendszerét Ptolemaioszhoz hasonlóan

²³ A Kopernikusz gondolkodását formáló filozófiai hatásokról lásd: Bilinski, Br.: *Il pitagorismo di Niccolò Copernic*; Duhem, P.: *Le système du monde*; Hermanowski, Georg: *Nikolaus Kopernikus: zwischen Mittelalter und Neuzeit* (Styria, Graz, 1985); Hooykaas, R.: *The Aristotelian Background to Copernicus's Cosmology. Jour. Hist. Astr.* 18, Part 2 (May/1987), 111–116. o.

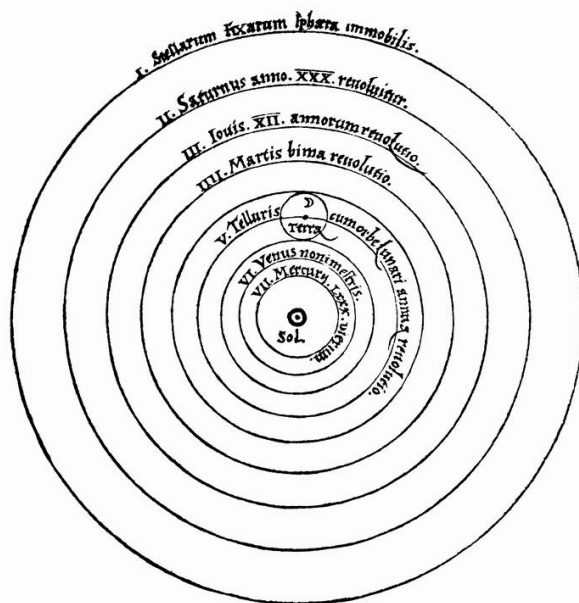
²⁴ Simonyi: id. mű: 171. o.; Dreyer: 317–318. o.

²⁵ Kopernikusz fő művének elérhető modern kiadásai: Copernicus: *Gesamtausgabe II.: De Revolutionibus. Kritischer Text.* (Hrsg. von H.M. Nobis und B. Sticker Hildesheim: Gerstenberg Verlag, 1984); Copernicus: *Complete Works, Vol. 1. The Manuscript of On the Revolutions* (Macmillan, London, Warsaw, Cracow 1972); (Copernicus) Kopernikus: *De revolutionibus orbium coelestium.* Faksimiledruck der Erstausgabe (Leipzig,

kvantitatív részleteiben is kidolgozta, s ugyancsak Ptolemaioszhoz hasonlóan a rendszer alapján bolygótáblázatokat készített. Ezzel közel másfél évezred után először jelent meg egy új, részletesen kidolgozott csillagászati rendszer, s születtek olyan bolygótáblázatok, melyek méltó párját képezték ugyan Ptolemaiosz táblázatainak, ám mégsem az ő rendszere alapján készültek.

N I C O L A I C O P E R N I C I

net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur; Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circū currens, in medio uero omnium refidet Sol. Quis enim in hoc



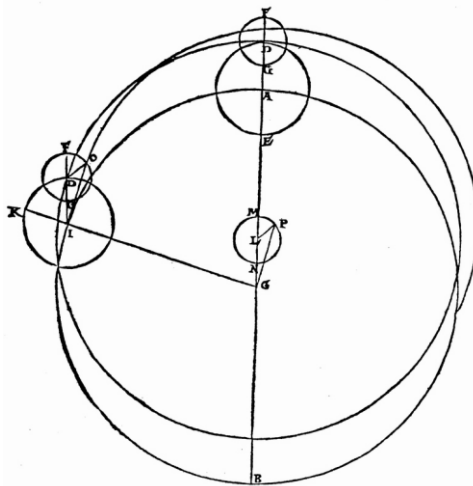
pulcherimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco poneret, quàm unde totum simul possit illuminare: Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij rectorem uocant. Trimegistus uisibilem Deum, Sophoclis Electra intuentē omnia. Ita profecto tanquam in folio regali Sol residens circum agentem gubernat Astrosum familiam. Tellus quoque minime fraudatur lunari ministerio, sed ut Aristoteles de animalibus ait, maximā Luna cū terra cognationē habet, Concipit interea à Sole terra, & impregnatur annuo partu. Inuenimus igitur sub hac

Kopernikusz művének egyik oldala a kopernikuszi rendszer sematikus ábrájával. Ennek az ábrának – amely a rendszer egyszerűségét sugallja – nagy szerepe volt az új kopernikuszi tan „propagandájában”. Az ábra körül az életrajzi pont elején idézett szöveg látható

Ez pedig igen fontos mozzanat Kopernikusz munkásságának hatástörténetében. Ugyanis Kopernikusz műve nem egyszerűen a „kopernikuszi fordulat” – azaz a bolygórendszer napközéppontúságának fölvetése – miatt számított nagy tudományos alkotásnak s gyakorolt alapvető hatást a Kopernikuszt követő korszak európai gondolkodására, hanem éppen annak a részletes kimunkáltságnak köszönhetően, melyben Ptolemaiosz *Almagestjét* leszámítva nem akad sem méltó párja, sem méltó elődje. E kidolgozottság igen fontos tényező volt, hiszen enélkül – mint ahogyan ezt a napközéppontú bolygórendszer eszméjét röviden ismertető *Commentariolus*

1965); Copernicus: *Die Kreisbewegungen der Weltkörper. (De Revolutionibus Orbium Caelestium)*. Erstes Buch. (Akademie, Berlin, 1959. Latin–német kétnyelvű kiadás).

bizonyítja – a napközéppontúság hipotézisének fölvetése nem váltott volna ki akkora tiszteletet és érdeklődést, s nem jelentett volna akkora szenzációt, mint a *Revolutionibus*. Az a közkeletű legenda, mely szerint Kopernikusz rendszere azért győzedelmeskedett volna a ptolemaioszi rendszer fölött, mert „jobb” – egyszerűbb és pontosabb – volt, ugyanis hamis. Bár a platonista filozófia szempontjából kifogásolható ekvansok eltűntek, s ebben a vonatkozásban Kopernikusz elérte célját, a rendszer ezzel együtt sem volt egyszerűbb, mint a ptolemaioszi, s ugyanakkor pontosabb sem volt nála.



Kopernikusz egy másik ábrája, mely az előbbivel szemben a rendszer valóságos bonyolultságát tükrözi

d) A kopernikuszi és a ptolemaioszi rendszer összevetése

A bonyolultság és a pontatlanság egyszerűen abból származtak, hogy a napközéppontúság ideája önmagában nem szüntethette meg azokat a problémákat, amelyekkel a ptolemaioszi rendszernek meg kellett küzdenie. Ha ugyanis föltesszük azt, hogy az égitestek tökéletes, koncentrikus körpályákon, egyenletes sebességgel keringenek, valamint azt is, hogy e körpályák síkja egybeesik, akkor a földközéppontú rendszer öt defferenssel, öt epiciklussal, valamint a Napnak és a Holdnak szolgáló egy-egy epiciklus nélküli körpályával – azaz összesen 12 körrel – pontosan vissza fogja adni a látszólagos bolygómozgásokat. Ugyanilyen föltételek mellett a napközéppontú rendszernek 7 körre lenne szüksége – hiszen az öt epiciklus fölöslegessé válna –; ám ugyanakkor a bolygók Nap körüli pályájukon elfoglalt pozícióját – vagyis a Nap középpontjából látszó helyét – még át kellene számolni a Földről látszó pozícióra, amire viszont a földközéppontú rendszerben nincsen szükség. Ezért a 12 és a 7 körpálya közötti különbség nem oly jelentős, hogy a földközéppontúságot megérné föladni érte, hiszen a földközéppontú rendszernek – azon túl, hogy összhangban van az égitestek mozgásával kapcsolatos mindennapi élményünkkel – megvan az az előnye, hogy egyből a látszó pozíciót, illetve a bolygók látszó mozgását adja vissza. Ha a ptolemaioszi rendszer bonyolult, s e bonyolultságával együtt csak bizonyos tűréshatárig pontos, ez nem a földközéppontúságából következik, hanem abból, hogy a bolygók közvetlen, fölbontás nélküli pályája nem körpálya, s sebességük nem egyenletes sebesség, valamint abból, hogy a bolygópályák nem esnek pontosan egy síkba egymással. (A „közvetlen, fölbontás nélküli” megszorítás azért szükséges, mert a Fourier-tétel alapján az ellipszispályákon történő mozgás is fölbontható körpályamozgásokra, azaz a Kepler-féle pályák is reprodukálhatóak tökéletes körmozgások eredendőjeként.) A Föld-Nap helycsere viszont ebből a szempontból nem hoz

semmi változást, s így a kopernikuszi rendszer eleve nem lehet minőségileg egyszerűbb és pontosabb, mint a ptolemaioszi. *Igen kifejező ebből a szempontból, hogy ott, ahol Kopernikusznak a legjelentősebb javítást sikerült elérnie – a Hold mozgásában –, nem volt szerepe a Föld és a Nap helycseréjének, hiszen a Hold pályájának középpontjában a kopernikuszi rendszerben is a Föld marad.*

Mindez természetesen nem azt jelenti, hogy a kopernikuszi rendszernek egyáltalában nincsenek előnyei a ptolemaioszi rendszerrel szemben. Így láthattuk, hogy a ptolemaioszi, deferensekből és epiciklusokból fölépülő bolygópályák kicsinyíthetőek és nagyíthatóak, s ennek során csupán két dologra kell ügyelnünk: 1. arra, hogy a pályák ne keresztezzék egymást; valamint arra, hogy 2. a deferenskörök elég nagyok legyenek ahhoz, hogy a Föld felszínén való helyváltoztatásból származó parallaxis elhanyagolható legyen. Ahogyan fogalmaztunk, a ptolemaioszi rendszerben a távolságoknak nincsen jelentőségük, a bolygók sorrendje pusztán konvencionális, aminek következtében a rendszerben szereplő konkrét pályáknak sincsen közvetlen fizikai tartalma. Ezzel szemben Kopernikusz rendszerében funkcióval bírnak a távolságok, de egyúttal magyarázatot kapunk arra is, hogy a Merkúr és a Vénusz látszó mozgása során miért követi a Napot. Azaz a kopernikuszi rendszerben bizonyos matematikai és geometriai összefüggésnek közvetlen fizikai tartalma van – jóllehet, a fizikai tartalomnak az értéke itt is jelentősen gyengül az epiciklusok és az excenterek sokasága miatt, melyet Kopernikusz bevezetni kényszerül: összesen 34 körpályára volt szüksége ahhoz, hogy rendszere működésképpé váljék.

e) A „kopernikuszi fordulat” mögött rejlő tudományos és kulturális tényezők

Figyelembe véve azt, hogy Kopernikusz elmélete sem egyszerűbb, sem pedig pontosabb nem volt, mint a ptolemaioszi elmélet, mivel magyarázható az előbbi térhódítása, s győzelme a másik fölött? Hiszen az előbbieken felsorolt erények kevésnek tűnnek ehhez.

Valóban, a kopernikuszi rendszer nem csupán ezeknek az erényeinek köszönhetette sikerét. Ahhoz, hogy megértsük a kopernikuszi elmélet fogadtatását, s a napközéppontú világegyetem eszméjének elterjedését, figyelembe kell vennünk az akkori európai szellemi és kulturális légkört. Ez az az időszak, amikor a középkori világ erkölcsi, kulturális, szellemi eszményei általában megrendülnek, amikor fokozott az érzékenység a fölbukkanó új eszmék, elvek s elméletek iránt. A tudomány területén ez a megújulásigény elsősorban az elmerevedett s a megújulóképeség tekintetében kifáradt arisztotelianus skolasztika elleni támadásban fejeződött ki. Kopernikusz elmélete, azáltal, hogy az egész kozmoszt fölforgatta, s megváltoztatta az ember kozmoszon belüli helyét, radikális formában tett eleget a középkori világ értékrendszerének megingása nyomán keletkező kulturális igényeknek, s ugyanakkor azzal, hogy konkrétan az arisztotelészi fizika kozmoszát borította föl, nemcsak összhangban volt a kor tudományos szellemiségének anti-arisztotelianus tendenciáival, hanem egyben új impulzust is adott ezeknek: *a kulturális és szellemi megújulással kapcsolatos bizonytalan vagy kevésbé bizonytalan igények mintegy a kopernikuszi elméletben szintetizálódtak, s így a „kopernikuszi fordulat” döntő módon hozzájárult ezek megerősödéséhez és uralomra jutásához.* A kopernikuszi rendszer tehát nem oldotta meg a bolygómozgások problémáját sem a pontosság, sem pedig az egyszerűség tekintetében, ám a megjelenése utáni évtizedekben alkalmasnak bizonyult arra, hogy a kor új szellemi és kulturális tendenciáinak kifejezőjévé váljék, s ugyanakkor ezeket mintegy megerősítve és szintetizálva a maga kozmológiai fordulatával gondolkodástörténeti fordulatot hajtson végre.

A most tárgyalt általános kultúrtörténeti mozzanat mellett még szerepet játszott egy szűkebb, speciálisabb, csillagászat-történeti tényező is Kopernikusz sikerében. Kopernikusz művének

megjelenésekor a ptolemaioszi elmélet közel másfél évezredes elmélet volt már, s abban, hogy ez az elmélet ily sokáig uralhatta a csillagászatot, kétségen kívül annak erényei játszották a legfontosabb szerepet. Ugyanakkor láthattuk azt is, hogy ismertek voltak fogyatékoságai is, s ezek kiküszöbölésére, az elmélet „jobbá” tételére történetek már kísérletek Kopernikust megelőzően is. E kísérletek azonban eredménytelenek maradtak, s a ptolemaioszi rendszer közel másfél évezreden keresztül gyakorlatilag változatlan maradt. Miután a rendszer fogyatékoságainak kijavítására irányuló kísérletek ennyi idő után sem vezettek eredményre, nem igen volt már remény arra, hogy az eredeti struktúra megőrzésével történő jövőbeli próbálkozások eredményesebbek lehetnek. Kopernikusz elmélete e vonatkozásban új perspektívát nyitott. Bár nem volt pontosabb és egyszerűbb, mint Ptolemaiosz elmélete, ám ezen utóbbi, évezredes elmélettel szemben friss, új elmélet volt, s így magában hordozta a jövőbeli sikerek ígérését. Maga Kopernikusz is ennek megfelelően értékelte saját elméletét, s munkásságát pusztán az új úton megtett első lépésnek tekintve rendszerének továbbfejlesztésére szólított föl. Elméletének ezen újdonsága, s ebből fakadó ígéretenessége Kopernikusz javára szolt Ptolemaiosszal szemben.²⁶ Az ígéretenesség tette hamar népszerűvé Kopernikusz bolygótáblázatait, és ez a titka a kopernikuszi rendszer alapján Erasmus Reinhold²⁷ (1511–1553) által készített, és 1551-ben publikált úgynevezett *Porosz Táblázatok (Tabulae Prutonicae)* sikerének is, melyek fölépítésükben a kopernikuszi táblázatokkal egyeztek meg, ám egyrészt részletesebbek voltak náluk, másrészt pedig Reinhold nagyobb pontosságig számolta ki az adatokat bennük, mint Kopernikusz.²⁸

Végül hangsúlyoznunk kell még azt is, hogy a kopernikuszi elmélet a csillagászaton belül egyáltalában nem volt annyira sikeres és diadalmas, mint amilyennek ma a kulturális és gondolkodástörténeti értelemben vett „kopernikuszi fordulat” jegyében tűnik. A kor talán legnevesebb csillagásza, Tycho de Brahe egy másik rendszert javasolt helyette, s halálos ágyán fiatal munkatársát, Keplert arra kérte, hogy az általa összegyűjtött megfigyelési adatok alapján ezt a másik rendszert dolgozza ki matematikai részleteiben, s igazolja ezáltal. Kepler pedig – miután Brahe halálát követően elindul a maga választotta úton –, a kopernikuszi rendszer pontatlanságait csökkentendő, bevezeti e rendszerbe is az ekvánsokat, s így *azt az eredeti kopernikuszi motiváció szempontjából megengedhetetlen módon átalakítja*. S bár az így kapott kepleri rendszer már valóban pontosabb, mint a ptolemaioszi, Keplert ez sem elégti ki: végül föladja a körmozgásokat, s velük a defferenseket, az epiciklusokat és az excentereket. Nem telik el száz év, s immár Kopernikusz rendszere tudománytörténeti múlttá válik.

Kepler elmélete ugyanakkor jelentősen hozzájárult a kopernikuszi fordulatnak, mint kulturális és gondolkodástörténeti fordulatnak a kiteljesedéséhez. Mert a jelzett kulturális összefüggések ellenére Kopernikusz elmélete nemcsak a régi világképhez ragaszkodó római egyház és az arisztoteliánus skolasztika követőinél váltott ki jelentős ellenállást, hanem számos olyan esetben

²⁶ E problémakörrel kapcsolatosan lásd pl. Lakatos, I. – Zahar: „Why superseed ...” in: Lakatos, I.: *Selected Papers I*, ed. by J. Worrall and G. Curris, Cambridge University Press, Cambridge, 1978).

²⁷ Erasmus Reinhold (1511–1553): német református csillagász, wüttenbergi egyetemi professzor, Kopernikusz rendszerének szakavatott értője, aki azonban Kopernikusz rendszerét csak hipotézisként és hasznos matematika eszközként fogadja el. Amíg maga Kopernikusz rendszerének alapján csupán ívpercnyi pontosságú bolygótáblázatot készített, Reinhold Kopernikusz rendszere alapján kiszámolja az 1551-ben megjelent úgynevezett „Porosz táblákat” („*Tabulae Prutonicae*”), amelyek másodpercdatokat is tartalmaznak.

²⁸ Dreyer: 343–344. o.

is, amikor az új szellemi és vallási tendenciák képviselőiről volt szó. Így a kopernikuszi gondolat elvetői közé tartozott többek között Luther²⁹, Melanchton³⁰ vagy Francis Bacon³¹, de – mint láttuk – a kiváló csillagász, Tycho de Brahe is. Abban, hogy Kopernikusz elmélete mégis fölülkerekedett, s a „kopernikuszi fordulat” visszafordíthatatlanná vált, Bruno filozófiája, Galileo Galilei csillagászati és fizikai vizsgálódásai mellett igen nagy szerepe volt a konkrét kopernikuszi rendszert megsemmisítő Kepler-törvényeknek is.³²

7. Tycho de Brahe

A kopernikuszi rendszer megszületése és fogadtatása elválaszthatatlan volt tehát az akkori európai kulturális és szellemi klímától. A természetkutatásban pedig ennek egyik igen fontos mozzanata volt az empiria felé fordulás. S itt nemcsak a természettel kapcsolatos beállítódásban bekövetkezett eltolódásról volt szó, hanem arról is, hogy új technikák, eljárások és műszerek jelentek meg, s ezek új, korábban elképzelhetetlen megfigyeléseket, illetve a hagyományos vizsgálódásokban korábban elérhetetlen pontosságot tettek lehetővé. Az új vizsgálódásokat eredményező műszerek paradigmikus példáját Galilei távcsöve nyújtotta, míg a korábbi mérések pontosságának meghaladására az egyik tipikus területként szintén a csillagászat szolgált a kezdetben II. Frigyes dán király, majd később II. Rudolf császár prágai udvarában dolgozó dán csillagász, Tycho de Brahe³³ (1546–1601) munkássága révén. Tycho de Brahe nagy pontosságú

²⁹ Luther Márton (1483–1546): mint az első egyházi „reformátor”, a reformáció kezdeményezője, az evangélikus (lutheránus) egyház alapítója. 1517 október 31-én a wittenbergi vártemplom ajtajára kifüggeszti 95 tételét, vitára hívva fel a teológusokat a bűcsú hatákonyságáról. A tételek nem várt nagy mozgalmat indítottak el a kaolikus egyházban, s ezt a napot szokás a reformáció kezdetének tekinteni. Kezdetben nem akart elszakadni Rómától: az egyházszakadáshoz 1523. január 3-i pápai kiátkozása vezetett. Az inkvizíciótól Bölcs Frigyes, szász választófejedelem védelme mentette meg.

³⁰ Philip Melanchton (1497–1550): német humanista, teológus, egyetemi tanár Wittenbergben, Luther harcostársa és egyik jobb keze a reformációban. Ő adja ki Luther tanításának első rendszeres összefoglalását (*Loci Communes*, 1521) Luther halála után az egyházak közötti megbékélésre, a kálvinizmussal és a katolicizmussal történő kiegyezésre törekedett. Érdeklődött a fizika és a csillagászat iránt. *Initia Doctrinae Physicae* című műve sokáig tankönyv volt a reformáció hatása alatt álló német egyetemeken.

³¹ Bacon, Francis (1561–1626) angol filozófus, az empirizmus és az induktív módszer képviselője. Nevéhez kapcsolódnak a nevezetes „ködképek” („idolok”) s „a tudás hatalom” formula. Fő műve: *Novum Organum*.

³² Kopernikusz elméletének recepciójáról lásd pl.: J. Dobrzycki (ed.): *The Reception of Copernicus' Heliocentric Theory* (Reidel, Dordrecht, 1973); Koyré, A.: *From the Closed World to the Infinite Universe* (Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1957); uő.: *The Astronomical Revolution: Copernicus – Kepler – Borelli* (Methuen, London, 1973); Kuhn, T. S.: *The Copernican Revolution* (Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts, 1957); Moss, J. D.: *Novelties in the Heavens: Rhetoric and Science in the Copernican Controversy* (Univ. of Chicago Press, Chicago, 1993); Rosen, Edward: *Copernicus and the Scientific Revolution* (Krieger, Malabar, 1984).

³³ Brahe, Tycho de (1546–1601): dán csillagász, aki az általa kifejlesztett műszerekkel és módszerekkel a csillagászati megfigyelések pontosságában minőségi változást hozott: a Brahe-féle megfigyelések pontosságát a csillagászat csak a távcső bevezetése után tudta meghaladni. Kepler döntően a bolygók mozgásáról Brahe által gyűjtött precíz adatok alapján fedezte föl törvényeit. Brahe mint teoretikus neve a ptolemaioszi és a kopernikuszi rendszer között álló, általa kidolgozott speciális földközéppontú rendszeréért ismert. Fontos megfigyeléseket végzett az 1572-es nova és az 1577-es üstökös kapcsán, melyek jelentősen hozzájárultak az égi világ változatlanságával, illetve a szilárd bolygószférák létezésével kapcsolatos természetfilozófiai elképzelések elvetéséhez.

csillagászati megfigyelései rendkívüli tudománytörténeti jelentőséggel bírnak, hiszen Kepler e megfigyelések eredményeinek alapján ismerte föl a bolygópályák ellipszis alakját, s fedezte föl másik két törvényét is.

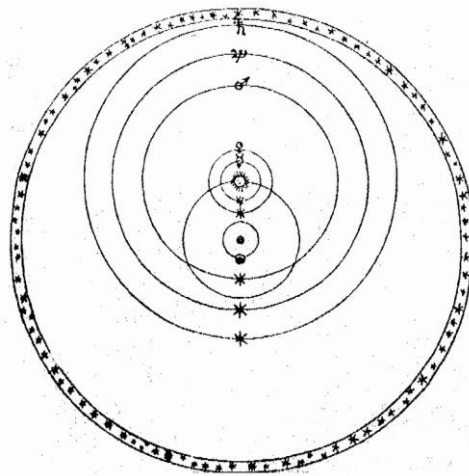
Tycho de Brahe azonban nem csupán mint empirikus kutató volt jelentős, hanem tevékenységében elméleti megfontolások és törekvések vezették. Így éveken keresztül vizsgálta a Hold mozgását abból a célból, hogy még pontosabbá tegye Ptolemaiosz Kopernikusz által korrigált Hold-elméletét, s e területen valóban jelentős előrehaladást ért el: elmélete a legsikeresebb volt a körpályatézist fönntartó Hold-elméletek közül, s mint ilyen – a Mars mozgásának ekvánssal korrigált kepleri, napközéppontú elméletével együtt – a tökéletes, egyenletes körmozgások eszméjén alapuló matematikai csillagászat egyik utolsó nagy teljesítménye.

A Hold mozgása mellett Tychot természetesen foglalkoztatta a ptolemaioszi és a kopernikuszi rendszer viszonya is. Ennek során a Föld mozgásának tanát sem a Nap körüli keringés, sem pedig a tengely körüli forgás értelmében nem tudta elfogadni, s a Nap körüli keringés ellen a szokásos érvek mellett egy igen figyelemreméltó új érvet hozott föl. A távcső csillagászati fölfedezése előtt a csillagok látszó fényerejében tapasztalható különbségeket a szögben megadott látszó átmérőkre vezették vissza, azaz a csillagoknak olyan korongszerű megjelenést tulajdonítottak, amely a kis szögátmérő miatt csupán a fényességkülönbségekben érzékelhető. Tycho a csillagok parallaxisának hiánya, s a fényesebb csillagoknak tulajdonított ívátmérő alapján kiszámolta, hogy a kopernikuszi rendszer alapján e csillagok valós átmérőjére a Föld Nap körüli pályájának méretéhez hasonló értéket kapnánk, amit abszurd eredmények tartott. Brahe ugyanakkor Ptolemaiosz rendszerét sem fogadja el, s egy olyan rendszert javasol, mely arra a már tárgyalt rendszerre hasonlít, melyet az ókorban az „egyiptomi” jelzővel emlegettek, s amelyet ma Calcidius alapján Herakleidosznak szoktak tulajdonítani. Láttuk, hogy e rendszerben két bolygó – a Merkúr és a Vénusz – a Föld körül keringő Nap körül kering. Most Tycho egy olyan rendszert vázolt föl, melyben nemcsak e két bolygó, hanem a Mars, a Jupiter és a Szaturnusz pályája is ilyen, mégpedig oly módon, hogy a két utóbbi esetében a pálya körbefutja a Nap Föld körüli pályakörét is, a Mars esetében pedig ugyancsak a pálya belsejében található a Föld, míg maga a pálya a Nap pályáját metszi.

Tycho de Brahe e rendszert úgy alkotta meg, hogy az kalkulatív szempontból teljesen ekvivalens Kopernikusz rendszerével, azaz a Tycho-féle rendszerben számított pozíciók pontosan megegyeznek a kopernikuszi rendszer alapján számított pozíciókkal. Ezért Tycho de Brahe rendszere – bár a kopernikuszi vetélytársa – közvetve mégis Kopernikusz diadala, hiszen alkotója számára már nem a ptolemaioszi, hanem a kopernikuszi rendszer volt a mérce. Ugyanakkor ez a mérce pusztán kiindulópontul szolgált Tycho de Brahe számára: mint kiváló megfigyelőcsillagász tisztában volt a kopernikuszi rendszer eredeti, kopernikuszi formájának pontatlanságaival, s bolygómegfigyeléseivel saját rendszerének finomítására és pontosítására törekedett.

Tycho de Brahe rendszerének figyelemre méltó mozzanata a Nap és a Mars pályájának kereszteződése, melyről Tycho megjegyzi ugyan, hogy szokatlan, ám ezzel együtt is problémamentesnek tekinti, mivel *elveti az égi szférák reális, fizikai létezését*. A bolygószférák realitásának e tagadása szintén empirikus alapokon nyugodott: az üstökösök pályájának vizsgálatával volt összefüggésben. Tycho parallaxismérései ugyanis egyértelműen megmutatták azt, hogy ezek a Hold pályája fölötti objektumok, melyek mozgásuk során metszik a bolygók

pályáját, s ez tarthatatlanná tette a szilárd, áthatolhatatlan égi szférák további föltételezését.³⁴ Az üstökösökkel kapcsolatosan megemlítendő még, hogy az 1577-ben megjelent üstökösöt vizsgálva Tycho szintén megállapította, hogy annak pályája nem kör, hanem „ovális” alakú, s ez volt az első eset, amikor egy csillagász anélkül tulajdonított a körtől eltérő alakú pályát egy égitestnek, hogy azt körmozgások eredendőjeként értelmezte volna. Ez persze nem jelentette azt, hogy Tycho föladata a körpályatézist: az üstökösöket egyszerűen nem tartotta olyan jelentős égitesteknek, hogy pályájuk szabálytalansága, „tökéletlensége” megzavarta volna a kozmosz rendje szempontjából alapvető égitestek, a bolygók, a Nap és a Hold mozgásának tökéletességére vonatkozó meggyőződését.



Tycho rendszere

Különös véletlenként éppen ezekre a csillagászat – és általában a tudomány – szempontjából mozgalmas Kopernikusz utáni évekre esett, hogy több mint fél évezred után egy új csillag fénylett föl a földi égbolton. E csillag pozícióját Európa több városában is megmérték, s az így kapott eredmények alapján Tycho de Brahe megállapította, hogy az nem mutat napi parallaxist, s ezért jóval a Szaturnusz pályája „fölött” helyezkedik el – azaz valódi csillag, s nem meteorológiai jelenség, mint ahogyan ez Arisztotelész nyomán következne. Ennek az eredménynek igen nagy jelentősége volt a változatlan égi régióval kapcsolatos arisztoteléanus tanítás hiteltelenné válásában.³⁵

8. Kepler

Tycho de Brahe termékeny munkásságának 1601-ben bekövetkezett hirtelen halálával tragikusan végeszakadt. Halálos ágyán ifjabb munkatársát, a kiváló fiatal matematikust, Johannes Keplert (1571–1630) kérte meg arra, hogy fejezze be az általa elkezdett munkát, s az általa összegyűjtött

³⁴ Az égi szférák „földreidőződéséről”, s ebben Tycho de Brahe szerepéről vö. pl.: B. R. Goldstein and P. Barker: The Role of Rothmann in the dissolution of the Celestial Spheres. *The British Journal for the History of Science* 28 Part 4, No. 99 (1995 december), 385–403. o.

³⁵ Tycho de Brahe-ről lásd: Simonyi: id. mű: 178–181. o.; J. L. E. Dreyer: *Tycho de Brahe* (Adam and Charles Black, Edinburgh, 1890); Dreyer: *A History of Astronomy* 345–371. o.; René Taton and Curtis Wilson (eds): *Planetary Astronomy from the Renaissance to the Rise of Astrophysics. Part A: Tycho Brahe to Newton. (The General History of Astronomy, Volume 2.)* (Cambridge University Press, Cambridge, New York, 1989), 3–44. o.

adatok alapján dolgozza ki részletesebben, pontosítsa – s ezáltal a kopernikuszi rendszerrel szemben védje meg – rendszerét, mint az égitestek mozgásának egyedül igaz leírását. Kepler ekkor már igen határozott híve volt a napközéppontú bolygórendszernek, s eltökélten e rendszer alapján kereste az égitestek elrendezésének és mozgásának „titkos” harmóniáját, s így Tycho de Brahe végakarata már nem téríthette le arról az útról, mely a napközéppontúság eszméjén alapulva végül a körpályatézis föladásához, s a Kepler-törvények fölfedezéséhez vezette. Mégsem lett ezáltal hálátlan mesteréhez: az általa meglett három törvény mégiscsak azt nyújtotta, amire Tycho de Brahe, s a görögöktől kezdődően minden csillagász vágyott: a bolygómozgások titkának megfejtését.

Johannes Kepler 1571-ben született Würtembergben. 1589-től a tübingeni egyetemen folytatott tanulmányokat. Itt meghatározó módon hatott rá a kiváló matematikus és matematikai csillagász, Michael Mästlin³⁶ (1550–1631), aki Kepler figyelmét a bolygómozgások problémája felé irányította, s aki egyúttal megnyerte tanítványát a kopernikuszi rendszer számára. Kepler első műve, a *Mysterium Cosmographicum* 25 éves korában, 1596-ban jelenik meg, s témája már ekkor a nagy kepleri téma: a bolygórendszer fölépítésének titka, a kozmosz számokkal és geometriai alakokkal jellemezhető misztikus harmóniája.³⁷ A műben Kepler határozottan kiáll a kopernikuszi rendszer mellett, s – a *Revolutionibus*ban található megfontolásokat is fölhasználva – a ptolemaioszi rendszer magyarázat nélkül maradó belső összefüggéseire hivatkozva érvel Kopernikusz oldalán. Így utal a bolygók epicikluson való keringése és a Föld–Nap tengely iránya közötti összefüggésre; a Merkúr és a Vénusz keringésének Naphoz kötöttségére; arra, hogy a Mars, a Jupiter és a Szaturnusz esetében az epiciklusok átmérője a defferenskörhöz viszonyítva egyre kisebb és kisebb lesz, valamint arra, hogy a Napnak és a Holdnak nincsen epiciklusa. Ezekre az összefüggésekre a ptolemaioszi rendszerben nincsen magyarázat – hangsúlyozza Kepler –, míg Kopernikusz alapján természetessé válnak.

A *Mysterium Cosmographicum* célja, hogy a bolygók elrendezésében olyan matematikai összefüggést – „harmóniát” – találjon, melynek birtokában egyetlen egy bolygópálya ismeretében rekonstruálható lesz az egész rendszer. Ugyanis Kepler már ekkor mélyen meg van győződve arról, hogy a kozmosz fölépítése – mely számára Giordano Brunóval szemben még elsősorban a Naprendszer fölépítésével azonos – nem esetleges, hanem átfogó, egyetemes matematikai harmónia jellemzi. A *Mysterium Cosmographicum* vizsgálódásaiban Kepler még nem adja föl a reális szférák elméletét, hanem a kopernikuszi elmélet köreihez égi szférákat kapcsol, s ezek egymáshoz való viszonyát az öt szabályos geometriai testtel hozza összefüggésbe. Mivel ehhez a szférák vastagságára is szüksége van, s az eredeti kopernikuszi rendszerből következő szférák nem feleltek meg céljainak, bizonyos korrekciókat hajtott végre rajta, s ezek a rendszer predikcióit is megváltoztatták. Keplert azonban ez nem zavarja: mesterétől, Mästlintől tudja, hogy Kopernikusz rendszere eredeti változatában pontatlan, s bízik benne, hogy az újabb megfigyelések az ő spekulatív megfontolások alapján bevezetett kiigazításait fogják alátámasztani. Ennek reményében fordul Kepler a Dániából számára szerencsés időpontban

³⁶ Michael Mästlin (1550–1631): a thübingeni egyetemen Kepler asztronómia tanára, ő ismerteti meg Keplert Kopernikusz rendszerével.

³⁷ A *Mysterium Cosmographicum* elérhető modern kiadásai: az 1596-os kiadás: *Gesammelte Werke* (ed. M. Caspar, München, C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1. Band, 1938); a későbbi, 1621-es kiadás: *Ges. Werke*, 8. Band (1963). Angolul: Kepler: *Mysterium Cosmographicum – The Secret of the Universe* (Transl. by A.M. Duncan. Abaris Books, New York, 1981).

Csehországba áttelepülő Tycho de Brahehoz, aki viszont a fiatal és tehetséges matematikusban azt a személyt véli meglátni, aki majd igazolni fogja az ő rendszerét.

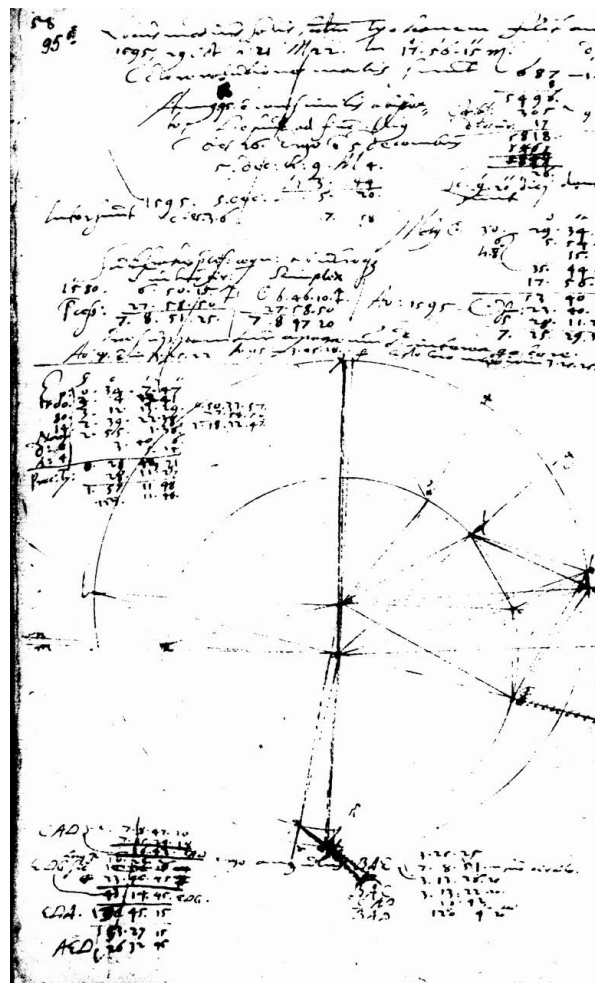
Kepler most tárgyalt könyvében szintén vizsgálja már a bolygók keringési idejének és Naptól való távolságának összefüggését, s megfogalmazza azt a hipotézisét, hogy mozgásuknak egy olyan erő a kiváltója, melynek forrása a Nap. Egyúttal azt is fölteszi, hogy ennek az erőnek a nagysága fordított arányban áll a Naptól való távolsággal. Ez a gondolat igen fontos következménye s továbbvitele a „kopernikuszi fordulat”-nak, hiszen korábban Arisztotelészt követve a csillagszférán kívül föltételezett szellemi természetű első mozdulatlan mozgatót tekintették a bolygómozgások forrásának. De fontos volt a Napra mint kozmikus erőforrásra vonatkozó hipotézis azért is, mert ez vezette el később Keplert második törvényéhez, melyet időben még az ellipszispályák fölfedezése előtt, az excenterek relációjában fogalmazott meg: a törvényhez vezető okoskodása szerint, ha a bolygók mozgásának erőforrása a Nap, kézenfekvő azt föltételeznünk, hogy azok Nap-közelben gyorsabban, a Naptól távolabb pedig lassabban keringenek.³⁸

A bolygók változó sebességű keringéséről számot adó kepleri összefüggés megfogalmazásában szerepet játszottak Keplernek az ekvánsokkal kapcsolatos próbálkozásai is. Mint láttuk, Kopernikust éppen az ekvánsok eltűntetésének igénye motiválta az új rendszer kidolgozásában. Kepler látva e rendszer pontatlanságait, a Mars esetében ekvánsok bevezetésével próbálta meg Tycho de Brahe adatait fölhasználva korrigálni azt, s ennek során jelentős előrehaladást ért el: sikerült neki a számított és a megfigyelt pozíciók közötti eltérést 8 szögpercnyi értékre csökkenteni. Ha Kepler itt megáll, s az ekvánsok módszerével a többi bolygó esetében is 8 szögpercre redukálja a hibát, igen valószínű, hogy évtizedekre, de talán évszázadokra is az ekvánsokkal kiegészített kopernikuszi rendszer marad meg uralkodó rendszerként, hiszen e korrekcióval a Mars esetében Keplernek másfél évezred sikertelen próbálkozásai után valóban sikerült jelentős előrehaladást elérnie. Tycho de Brahe megfigyelései azonban 2 szögperc pontosságúak voltak, s e pontosságot figyelembe véve a számítások továbbra is hibáztak – és *Kepler Cusanusszal vagy Brunóval szemben meg volt győződve arról, hogy az égitestek mozgása pontos, tökéletes matematikai harmónia szerint történik*, s nem csupán közelítőleg helyes matematikai eljárásokat akart kidolgozni, hanem ezt a pontos harmóniát kereste. Ezért nem elégedhetett meg a 8 szögpercnyi hibahatárral.

Mivel az ekvánsokkal való kísérletezés nem hozta meg a kívánt eredményt, Kepler módszertani fordulatra határozta el magát: szemben azzal az eddig követett módszerrel, mely először körpályák eredőjeként konstruálta meg egy-egy bolygó mozgását, majd az így kapott eredményt vetette össze a tapasztalattal, s korrigálta újabb körök bevezetésével, Kepler a napközéppontú rendszerben gondolkodva arra tett kísérletet, hogy a megfigyelési eredmények alapján, geometriai eszközöket fölhasználva megszerkessze a Mars közvetlen, fölbontás nélküli térbeli pályáját. E módszertannak természetesen előfeltétele volt a kopernikuszi fordulat, hiszen mint láttuk, szemben a ptolemaioszival, csak ebben a rendszerben volt közvetlenül értelme a pályáknak mint valós térbeli pályáknak, s a távolságoknak, mint valós fizikai távolságoknak. (A ptolemaioszi rendszerhez – pl. a szférarendszer által – természetesen hozzá lehetett rendelni ilyen értelmet, de ezt csak kívülről lehetett bevinni a rendszerbe, a konkrét méretek megadása ezen esetekben mindig csak kívülről történhetett.) Így csak a kopernikuszi szisztémában – vagy esetleg a vele szemben sok

³⁸ Vö. pl.: Donahue, W. D.: Kepler's Invention of the Second Planetary Law. *The Brit. Journ. for the Hist. of Science* 27 Part 1, No 92 (March/1994), 89–102. o.

szempontból ekvivalens Tycho de Brahe-féle rendszerben – fogalmazódhatott meg a térbeli pálya közvetlen meghatározásának igénye.



Kepler első kísérlete a Föld–Mars viszony meghatározására

Kepler programjának konkrét végrehajtása során először a Föld pályáját vizsgálta a Mars ismert, 687 napos keringési idejének fölhasználásával³⁹, s e vizsgálódása során arra az eredményre jutott, hogy az egyenlő távolság és az egyenlő szögsebesség középpontja a Föld esetében is különbözik egymástól: a pályaközéppontból nézve a Föld sem egyenletes szögsebességgel kering, s így itt is ekvansok bevezetésére van szükség. Ezen eredmény nyomán pedig eltűnt a Föld és a többi bolygó

³⁹ Mivel a Föld keringési ideje nem osztója a Mars keringési idejének, a Mars 687 nap múlva ugyanott lesz, mint a kiinduló időpontban, a Föld azonban másik helyen, aminek következtében az állócsillagokra kivetítve a Földről nézve mind a Mars, mind pedig a Nap máshol fog megjelenni. Amennyiben a kiinduló pozícióban a Mars oppozícióban volt, a Földről meghatározhatjuk az állócsillagokhoz képest a kitüntetett pozícióhoz tartozó Mars–Nap tengelyt. Ez a tengely ettől kezdve 687 naponként azonos lesz, s így a Mars és a Nap Földről látszó pozíciója ismeretében a Nap–Föld–Mars háromszög szögei 687 naponként kiszámíthatóak. E szögek ismeretében pedig a Föld pozíciója, mint e háromszög csúcsa, a 687 naponként azonos Nap–Mars szakaszra mint alapra megszerkeszthető. Természetesen így csupán a pálya alakját kapjuk meg, s méretét csak a kitüntetett időponthoz tartozó Nap–Mars szakaszhoz mint egységhez viszonyítva, relatíve számíthatjuk ki, ám az elérni kívánt cél szempontjából ez elegendő. A valódi távolságok meghatározásához pedig független módszerek alkalmazhatóak.

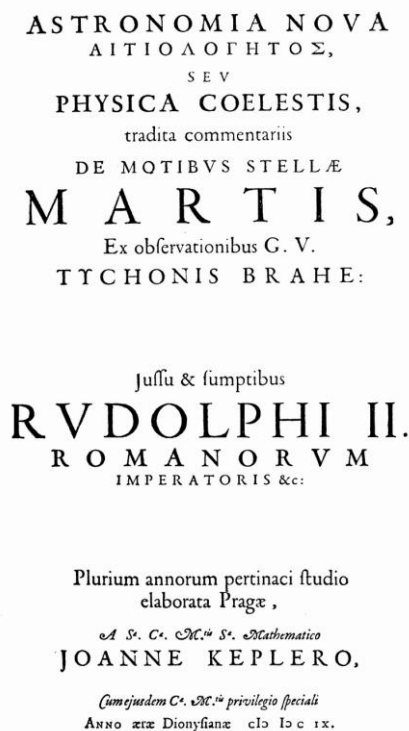
keringése közötti aszimmetria, s így fölvetődhetett Keplerben az a lehetőség, hogy talán mégsem az egyenletes szögsebességek tétele érvényes a bolygók keringésére, hanem egy olyan matematikai törvény, melynek következtében a keringési szögsebesség változó, ám ugyanakkor e változás mégis minden bolygó esetében ugyanolyan matematikai szabály szerinti harmóniát mutat. *Az elsőként meglelt – ma másodikként hivatkozott – Kepler-törvényben Kepler éppen ezt a matematikai szabályt lelte meg*: minden bolygó egyetemesen úgy kering, hogy a Nap és a bolygó közötti szakasz azonos idő alatt azonos méretű területet sűrol.

A Föld-pálya ismeretében Kepler hamar fölismerte azt is, hogy a Mars közvetlen térbeli pályája nem excentrikus kör, de nem is egyszerűen egy defferens és egy epiciklus kombinációja, hanem a Mars ellipszisszerű – „tojásdad” – pályán kering. Kepler előbb tárgyalt módszertani fordulata, s ez az eredmény az ellipszisszerű pályáról, természetesen nem jelentette még a körpályatézis föladását: a pálya ily módon történő közvetlen meghatározása még nem jelenti azt, hogy az eredményül kapott görbét ne lehetne valamilyen módon körmozgások eredőjeként visszaadni. Ennek megfelelően – bár kezdetben ellipszissel közelítette meg az eredményül kapott pályarajzot – Kepler munkásságát továbbra is a körpályatézis vezette, s fáradságos kísérleteket tett arra, hogy azt körmozgások eredőjeként reprodukálja. Csak akkor hagyott föl ezzel a törekvéssel, amikor végre világossá vált számára, hogy a közvetlen, fölbontás nélküli térbeli pálya ugyan nem kör, de *ugyancsak szabályos, a bolygópályák matematikai jellegéről tanúskodó alakzat*: egy olyan ellipszis, melynek egyik gyújtópontjában a Nap található.⁴⁰

Az a most leírt út, melyen Kepler Tycho de Brahe adatai alapján eljutott a Mars-pálya ellipszis alakjának fölismeréséhez, természetesen nem azt jelenti, hogy pusztán az empiriából kiindulva, geometriai szerkesztésekkel el lehetett volna érni ezt az eredményt. Először is, Cusanus vagy Bruno „pontatlan” kozmoszát föltételezve Kepler vizsgálódásai értelmetlenek lettek volna, hiszen ha a bolygók nem pontosan keringenek, az egyes ciklusokban nagy valószínűséggel más és más pályát járnának be, s így egyáltalában nem volna bizonyos sem az, hogy a Mars 687 naponként ugyanabban a pozícióban található, sem pedig az, hogy ha igen, akkor az e pozíciókhoz tartozó Föld-pozíciók ugyanazon konkrét földpályagörbe pontjai volnának. Ám, ha ettől el is tekintünk, a pontatlan kozmosz eszméje alapján ekkor sincs értelme annak, hogy 8 szögperc pontosságig eljutva még nagyobb pontosság elérésére tegyünk erőfeszítéseket. Végül – harmadikként – nemcsak az elvi kiindulópont – a pálya azonossága a különböző keringési ciklusokban –, s a motiváció miatt előföltételezték Kepler kutatásai a pontos, s matematikailag harmonikus kozmosz eszméjét. A Kepler által végzett fáradságos számításoknál jóval gazdagabb és kiterjedtebb számítások alapján is csak egy diszkrét pontokból álló, igen hézagos rajzolatot kaphatnánk a Mars pályájára: egy olyan rajzolatot, melyre számtalan görbe ráilleszhető volna, ha nem előföltételeznénk valamiféle (közvetlenül vagy tökéletes kör összetevői révén) harmonikus, matematikailag „szép” pályát, ha nem tesszük föl, hogy a keringések matematikai értelemben szépek és egyszerűek, s időben változatlan szabályok szerint történnek. *Kepler számára nem az volt egyszerűen a föladat, hogy újabb és újabb számítások révén, s újabb és újabb adattömegek segítségével egyre részletesebben, egyre több pontból rajzolja föl a Mars pályagörbét, s ezáltal egyre közelebb jusson a „valódi” görbéhez, hanem éppen ellenkezőleg: az, hogy a fokozatosan kirajzolódó alakzatot matematikailag megfejtse, azt mint matematikailag szépet és harmonikusot mutassa föl, vagy ilyen harmonikus és szép mozgások eredőjeként reprodukálja.* Ezért kísérletezik

⁴⁰ Vö. Donahue, W. H.: Kepler's First Thoughts on Oval Orbits. *History of Astronomy* 24, No. 75 (February and March 1993), 71–100. o.

Kepler a vizsgálódásai során kapott ellipszisszerű görbe epiciklusokból és más körmozgásokból való előállításával, s miután fölismeri, hogy a kiszámított pályapontok egy Nap-gyújtópontú ellipsziszre illeszkednek, emiatt nem kételkedik tovább abban, hogy ez a geometriai alakzat valóban a Mars keresett pályája. Így bár Petrus Ramus⁴¹ (1515–1572), a XVI. századi francia matematikus a hipotézisek nélküli csillagászatért szállt síkra, s Kepler őreá hivatkozik, amikor az ellipszispályákkal kapcsolatos törvényt megjelenti, az eredményre vezető Kepler-módszer is igen komoly és súlyos hipotéziseken alapult, s e hipotézisek nélkül nem járhatott volna sikerrel. Persze Keplernek ezzel együtt is igaza van, amikor Ramus nevét említi, hiszen az ellipszispályára s a változó keringési sebességre vonatkozó két törvényével valóban elvetette az évezredek körpálya-hipotézist és az egyenletesen körmozgás követelményét, s maga Ramus is elsősorban az ezektől mentes csillagászatra gondolt.



Kepler Astronomia Nova című művének címlapja

Kepler David Fabricius⁴² (1564–1617) írt 1604. december 18-i levelében állítja először határozottan, hogy a Mars pályája ellipszis. Az ellipszispályával kapcsolatos első gondolataiban

⁴¹ Petrus Ramus (Pierre de la Rameé, 1515–1572) francia matematikus, filozófus és pedagógus, a retorika tanára a párizsi királyi kollégiumban, aki Scholarum mathematicarum című, 1569-ben, Baselban megjelentetett művében Kopernikusz rendszerének pontatlanságaival foglalkozva a hipotézisek nélküli csillagászatra szólít föl. Ez alatt azt érti, hogy a bolygók látszó mozgásának körpályákkal történő visszaadása helyett a csillagászoknak a bolygók valóságos térbeli pályájának meghatározására kellene törekedniük. Ezt az eszmét később Kepler valósítja meg. Ramus logikai műve alapján készült Apáczai Csere János Magyar Logikácskája. Szent Bertalan éjszakáján meggyilkolták.

⁴² David Fabricius (1564–1617): protestáns lelkész, kiváló megfigyelő-csillagász, a Tycho de Brahe-féle rendszer híve, aki a jezsuita Cristoph Scheinerhez hasonlóan Galileivel egy időben s tőle függetlenül

fennmaradt jegyzetei alapján már valamikor 1602 tavaszán fölmerültek.⁴³ A Mars pályájával kapcsolatos ezen fölfedezése, valamint a ma 2. törvényként ismert összefüggés az 1606-ra elkészült, s 1609-ben megjelent *Astronomiae Novae* című könyvében került kinyomtatásra, míg *Epitome Astronomiae Copernicae* című munkájának három kötete, melyben e törvényeket a többi bolygó esetében is alkalmazza, 1618, 1620 és 1621-ben jelenik meg Linzben.⁴⁴

E kötetek megjelenése alatt ugyanakkor Kepler megír egy újabb nagyszabású művet, a *Harmonicae Mundi Librit*, mely 1619-ben ugyancsak Linzben jelent meg, s amely a 3. számú Kepler-törvényt tartalmazza.⁴⁵ Emlékezzünk csak vissza arra, hogy a *Mysterium Cosmographicum*ban Kepler nemcsak egyszerűen a bolygómozgások titkának megfejtését tűzte ki célul, hanem egy olyan harmonikus világtörvény megjelését, melynek segítségével egyetlen pálya adatainak ismeretében az egész bolygórendszer reprodukálható, s ennek során a bolygók Naptól való távolságát az öt szabályos testtel hozta összefüggésbe. Ez a megoldás azonban a bolygómozgásokról azóta szerzett behatóbb és részletesebb ismeretei fényében már nem bizonyult kielégítőnek számára. Így Kepler tovább folytatta kutatásait a világ harmóniájának megjelésére törekedve, s ha a *Harmonicae Mundi*ban a bolygók Naptól való távolságát nem is sikerült eredeti elképzelése szerint egyetlen világtörvényből levezetnie, a *keringési idők és a naptávolságok között talált egy szintén harmonikus matematikai összefüggést*: fölfedezte, hogy a közepes naptávolságok köbei úgy aránylanak egymáshoz, mint a keringési idők négyzetei.

Ptolemaiszhoz és Kopernikuszhoz hasonlóan Kepler sem elégedett meg a „rendszer” kidolgozásával, hanem – minden bizonnyal asztrológiai érdeklődésétől is motiváltan – ő is fontosnak tartotta, hogy a bolygópályákkal kapcsolatos ismereteit részletesen kiszámított bolygótáblázatokban kamatoztassa. Így születtek meg élete utolsó évtizedében az 1627-ben megjelent úgynevezett *Rudolfi Táblák*, melyekre Kepler oly nagy gondot fordított, hogy a nyomdai munkálatok idejére személyesen Ulmba utazott felügyelni azokat. E táblák pontosságuk következtében hamar kiszorították a *Porosz Táblákat*, s a következő évszázad általánosan használt bolygótáblázataivá váltak.⁴⁶

fölfedezte a napfoltokat. Intenzív levelezést folytatott Keplerrel csillagászati kérdésekről, s ennek részként a Mars-pálya ellipszisszerű alakjáról.

⁴³ Vö. Donahue, id. mű.

⁴⁴ A szóban forgó művek elérhető modern kiadása a német Beck'sche Verlagsbuchhandlung Kepler-összkiadásában (*Gesammelte Werke*) található meg. A németre lefordított Kepler-műveket századunkban az Oldenbrug Kiadó adta ki. Így az *Astronomiae Novae* M. Caspar fordításában az Oldenburg kiadásában 1929-ben jelent meg. Az Oldenburg folyamatosan újranyomja a korábban már megjelent köteteket. Angol nyelvű kiadása: Johannes Kepler: *The New Astronomy* (transl. by William Donahue. Cambridge, 1989).

⁴⁵ *Ges. Werke* 6. Band, 1940; A *Harmonices Mundi* Oldenburg féle, német nyelvű kiadásának legújabb utánnomata: *Weltharmonie*. 5. unveränderte Nachdruck der Auflage 1939 (München: Oldenburg, 1990). A világ harmóniáját és az *Epitome* IV. és V: könyvét angolul C.G. Wallis fordításában a *Great Books of the Western World* 16., *Ptolemy, Copernicus, Kepler* című kötetében is olvashajuk (Hutchins, Chicago, 1952).

⁴⁶ Kepler munkásságáról és életéről lásd: Simonyi: 181–185. o.; Mikola Sándor: *A történeti Kepler*. (Atheneum, Budapest, 1908); Dreyer: 372–412. o.; Donahue, W. H.: id. mű, Wilson, C.: *Kepler's Derivation of the Elliptical Path*. *Isis* 59 (1963); Russel, J. L.: *Kepler's Laws of Planetary Motion: 1609–1666*. *Brit. Jour. for the History of Science* 2 (1964), 1–24. o.; Rosen, Edward: *Three Imperial Mathematicians: Kepler Trapped Between Tycho Brache and Ursus* (Abaris Books, New York, 1986); Stepheson, B.: *Kepler's Physical Astronomy* (Springer, Berlin, 1987); Field, J. V.: *Kepler's Geometrical Cosmology* (Univ. of Chicago Press, Chicago, 1988); Wollgast, S.–Marx, S.: *Johannes Kepler* (Köln, 1977); Freiesleben, H. C.: *Kepler als Forscher* (Darmstadt, 1970); Owen Gingerich: Johannes Kepler, in: René Taton and Curtis Wilson: id. mű 54–78.

A kepleri törvények fölfedezése – a bolygómozgások „titkának” megfejtése – a tudománytörténet ritka nagy és boldog pillanatai közé tartozott. Kepler előtt az a harmónia tárult föl, mely több mint kétezer éven keresztül kiemelt módon foglalkoztatta az európai gondolkodókat, s amelyet teljesen meglegni korábban sohasem sikerült, ám amelynek meglétében ennek ellenére csak kevesen kételkedtek. Igaz a legtökéletesebb mozgásnak tartott egyenletes körmozgásokat Kepler végül elvetette, ám a Kepler által meglelt törvények hasonlóan tökéletes és szép harmóniáról tanúskodtak. Ráadásul, míg Eudoxosztól kezdve nyilvánvaló volt, hogy az egyenletes körmozgások, s az ezekből fakadó harmónia csak közvetve, az összetételek révén jellemezheti a kozmoszt, a Kepler által meglelt harmónia a fölbontások nélküli mozgásokban közvetlenül volt jelen, s mint ilyen, jóval kifejezettebb és szebb volt, mint amit a bonyolult körpálya-összetételekkel vagy az egymásban forgó szférák segítségével kaphatunk. Minden alapunk megvan ezért annak föltételezésére, hogy magukat a püthagoreusokat és minden bizonnal magát Platón is kárpótolta volna a körpályák elvetéséért a Kepler által meglelt harmónia, melynek révén konkrét mibenlétében ugyan más, ám mégis hasonlóan szép, harmonikus és értelmes kozmosz rajzolódik ki a szemlélődő elé, mint amelyet a püthagoreusok és Platón az egyenletes körmozgás tézise alapján kerestek.

Ugyanakkor e harmónia meglelése Keplernél egyben a harmonikus kozmosz eszmetörténetének csúcsa is. Kepler után kiderül, hogy a bolygómozgások matematikai szabályai pusztán egy mélyebb, s bár szintén szigorú, pontos és matematikai jellegű, ám már nem ilyen közvetlenül és szemléletesen megjelenő, hanem „rejtekező” világtörvény – a newtoni gravitációs törvény – következménye, és a XVII század második felére az is egyre inkább világosabbá válik, hogy minden, ami a bolygórendszer fölépítésének tekintetében e törvényen kívül van – így a bolygók konkrét száma, az egyes bolygók konkrét naptávolsága, vagy az, hogy egy-egy bolygónak hány holdja van stb. – csupán esetleges. S kiderül az is, hogy még nagyobb pontosságot figyelembe véve e kepleri harmónia csak látszólagos és mulandó: a bolygók perturbálják egymást, a Newton-törvény alapján keringésük előbb vagy utóbb véget ér és a Napba fognak zuhanni stb. Nem is beszélve arról, hogy a mi számunkra már mindaz, ami még Kepler számára a „világ harmóniája” volt, egy elenyésző kozmikus térrégió, naprendszerünknek sajátja csupán.

Röviden: a kozmikus harmónia Kepler után fokozatosan „visszahúzódott” az olyan elvont fizikai törvényekbe, mint Newton törvényei, vagy a modern matematikai fizika egyenletei, melyek már nem a kozmosz közvetlen szerkezetében, hanem működésében és rejtett struktúráiban hatnak, míg a konkrét kozmikus rendszerek legtöbb vonásukban esetlegessé váltak. Egy ilyen „visszahúzódott” harmónia pedig már nem adja a kozmoszt a maga közvetlenségében olyan szépként és harmonikusként, mint ahogyan ez még a Kepler-törvények nyomán Kepler számára megjelenhetett. Mindezek ellenére persze a modern fizika kozmosza is matematikai, harmonikus és pontos kozmosz, csak éppen másként, mint a püthagórászi vagy a kepleri; – ami viszont egy olyan modern gondolkodót, mint Einstein nem zavart abban, hogy éppen ezt a modern fizikai törvényekben megjelenő harmóniát tekintse a világ ésszerűsége bizonyítékának, és hogy ezáltal az ésszerű kozmosz mellett még többek között a csillagok mozgására hivatkozva érvelő Platón XX. századi utódja legyen (hasonlóan Heisenberghez, aki az általa meghatározó módon előremozdított modern kvantummechanika alapján fordul vissza közvetlenül magához a platóni kozmológiához).

9. Galileo Galilei távcsöves megfigyelései és a kozmosz anyagi homogenitása

Ha Kopernikusz és Kepler tevékenysége elsősorban az elméleti csillagászat és a bolygómozgások titkának megfejtésében volt jelentős, a kibontakozó újkori tudományosság nagy személyisége, Galileo Galilei (1564–1642) a távcső csillagászati alkalmazásával az empirikus csillagászat fejlődéséhez járult hozzá döntő módon. Ugyanakkor Galilei távcsöves megfigyeléseinek konkrét eredményei ugyanazon anti-arisztotelaiánus szellemi tendencia számára szolgáltak érveket, mely a kopernikuszi fordulat általános szellemi háttérét is adta. Így míg Kopernikusz teoretikus oldalról járult hozzá a földi és az égi világ dualizmusának fölszámolásához, Galilei megfigyelési empirikus oldalról tették meg ugyanezt.

Maga a távcső, mint optikai eszköz, a lencsekészítők számára már Galilei előtt ismert volt, s többek között vásári mutatványok eszközeként szerepelt, ám csillagászati jelentőségét Galilei fedezte föl.⁴⁷ Az ismert történet szerint miután hírt kapott arról, hogy Hollandiában egy optikus ilyen műszert konstruált, félbeszakítva fizikai vizsgálódásait, minden további információ nélkül sikeresen reprodukálta elméletben annak optikai működését, s ennek nyomán szemüveg-lencséből ő maga is készített egy ilyen eszközt. *Az igazi nagy fordulatot azonban nem a távcső újrakonstruálása jelentette, hanem az, hogy ezt Galilei tudatosan az ég felé fordította, s ezáltal az emberiség történetében először alkalmazott a természet kutatásában olyan eszközt, mely az ember természetesen adott képességei alapján megfigyelhetetlen dolgokat tár föl, s tesz érzékileg megragadhatóvá a számára.* Ez a csillagászat tekintetében mindenekelőtt azt jelentette, hogy amíg korábban az ég és az égitestek természetével kapcsolatos elmélkedések a nem empirikus természetfilozófiai vizsgálódások területéhez tartoztak – azaz nem képezték a klasszikus értelemben vett csillagászat részét –, a csillagászat tárgya most (a Tycho de Brahe-féle üstökösvizsgálatok és a „nova” csillaggal kapcsolatos Brahe-féle mérések nyomán megkezdődött folyamat radikális fölgyorsulásával) jelentősen kibővült, és releváns empirikus vizsgálatok kezdődhettek e korábban kifejezetten spekulatív természetfilozófiai témában.⁴⁸

Galilei első távcsöves megfigyelései az 1609-es év végére, az 1610 elejére esnek, s nevezetes fölfedezései a Hold hegyeiről, a Jupiter bolygóiról, a Merkúr és a Vénusz fázisváltozásairól, valamint arról, hogy a Tejút apró csillagokból áll, ugyanezen évben jelennek meg *Siderius Nuncius* című művében, míg a napfoltokkal kapcsolatos eredményeit 1613-ban teszi közzé.⁴⁹

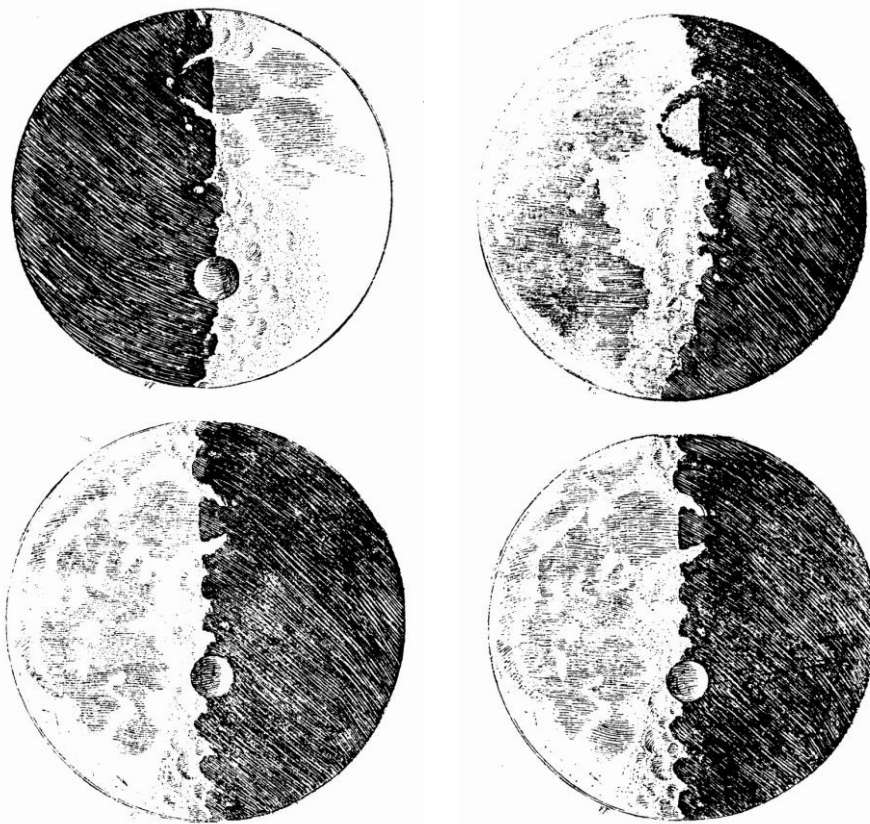
E fölfedezések – bár természetesen elvben elképzelhetőek más interpretációk is – alapvetően megingatták a ptolemaioszi rendszert. Hiszen kézenfekvő értelmezésüket csupán a kopernikuszi vagy a Brahe-féle rendszerben lehetett megadni, s ilyen értelmezésben kivétel nélkül mindegyik

⁴⁷ Vö. pl.: S. W. Drake, Galileo and the Telescope, in: uő.: *Galileo Studies* (University of Michigan Press, 1970), 140–158. o.

⁴⁸ A témával kapcsolatosan lásd pl.: Vekerdi László: *Így él Galilei* (Typotex, Budapest, 1997), 127–128., 136–141; 143, 147–151. o.; H. I. Brown: Galileo on the Telescope and Eye. *Journal of the History of the Ideas* 46 No 4 (1985. október–december), 487–501. o.; A. van Helden: The Telescope in the Seventeenth Century. *Isis* (1974), 38–58 o.; uő.: Galileo, the Telescopic Astronomy and the Copernican System, in: Taton and Wilson: id. mű: 81–105 o.

⁴⁹ A *Siderius Nuncius* (magyarul „csillag-hírnök” vagy „csillag-hír”) 1610. március 12-én jelent meg. Az eredeti szöveg megtalálható a *Favoro szerkesztette Opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale III/1. kötetében*. Angol nyelvű kiadása: *Siderius Nuncius of the Siderial Messenger*. (transl. by Albert van Helden, Chicago, 1989); Vö. még: Even A. Whittaker: Galilei's Lunar Observations and the Dating of the Composition of Siderius Nuncius. *Journal for the History of Astronomy* 9 (1978), 155–169. o.

a Hold alatti és a Hold fölötti régió egyneműségét állító fizikát támasztotta alá. Így a két belső bolygó fázisváltozása egyformán következett Kopernikusz és Tycho de Brahe rendszeréből, és abból az általánosan elfogadott föltevésből, hogy a bolygók a fényüket a Napból kapják, míg a ptolemaioszi rendszerben magyarázat nélkül maradt.⁵⁰ A Jupiter-holdak megsemmisítették azt a szkeptikus kérdést, hogy a kopernikuszi rendszerben a Nap mellett vajon miért csak a Föld az egyetlen, mely körül szintén égitest kering. A Hold hegyei és a változó napfoltok pedig a Tycho de Brahe által vizsgált új csillaghoz hasonlóan az égi régió tökéletlenségéről és változékonyságáról tanúskodtak, s e vonatkozásban a napfoltok fölfedezése a Nappal kapcsolatos kopernikuszi elképzelést is kétségbe vonta, hiszen Kopernikusz a Napot a püthagoreusokhoz hasonlóan a legtisztább és legtökéletesebb égitestnek tartotta, s többek között ezzel magyarázta középponti helyzetét.



Galilei rajzai a Holdról a Sidereus Nunciusban

Galilei távcsöve tehát olyan fölfedezésekkel szolgált, melyek az empíria oldaláról nyomtatékosan támasztották alá a Galilei-féle fizika anti-arisztotelianus tendenciáit, s szerencsés időpontjuk következtében lélektanilag igen nagy szerepük volt az újkori természettudományos világkép megerősödésében, az arisztotelianus kozmológia összeomlásában. A természetkutatás, s ennek részeként a csillagászat szempontjából azonban a konkrét fölfedezéseknél is nagyobb jelentőséggel bírt a távcsőnek, mint tudományos műszernek az alkalmazása, hiszen ettől kezdve

⁵⁰ Vö. pl.: P. Barker and R. Ariew: Introduction. Galilei and the Phases of Venus, in: uők (eds): *Revolution and Continuity* (The Catholic University of America Press, 1991), 6–7. o.; A Vénusz fázisait az újabb kutatások szerint már Galilei előtt is megfigyelték. Vö.: R. Ariew: The Phases of Venus before 1610. *Studies in History and Philosophy of Science* 18 (1987).

a közvetlenül megfigyelhető dolgok fölötti elmélkedéseken túl megjelenik és polgárjogot nyer a csak műszerek segítségével megjeleníthető dolgok kutatása, s ez forradalmi módon kitágította azt az empirikus horizontot, mely mindaddig az emberiség számára adva volt.⁵¹ De a távcső alkalmazása a csillagászati pozíciómérések pontosságát is korábban elképzelhetetlen mértékben megnövelte, hiszen az optikai eszközre helyezett fonálkereszt segítségével lehetővé tette az ívmásodpercek mérését is.

10. A kopernikuszi fordulat kozmológiai kiteljesítése: a Giordano Bruno-féle világegyetem

A világegyetem anyagi homogenitását alátámasztó, s így az arisztotelianus kozmológiát gyengítő Galilei-féle megfigyeléseket a filozófia területén megelőzte az a radikális támadás, melyet Giordano Bruno⁵² (1548–1600) filozófiája jelentett az arisztotelianus kozmikus dualizmus és a véges kozmosz eszméje ellen. Így a nagy olasz fizikus megfigyelései nemcsak saját fizikájával, hanem Bruno korábban megfogalmazott filozófiai kozmológiájával is összhangban voltak, s ezért annak térnyerését is elősegítették – jóllehet Bruno radikális kozmológiai fordulatával szemben, mely a korábban zárt világot a csillagszféra eltörlésével nyitott és végtelen világegyetemmé tette, mind Galileinek, mind pedig Keplernek fönntartásai voltak. Mert ha kultúr- és gondolkodás-történeti vonatkozásban a Föld–Nap helycserét végrehajtó Kopernikusz jelentette is a nagy fordulatot, kozmológiai vonatkozásban a valódi fordulat nem Kopernikusz, hanem a kopernikuszi úton továbbhaladó Giordano Bruno személyéhez kötődik. *Nem Kopernikusz, hanem Bruno volt az, aki „szétzúzta” az állócsillagok szféráját, s így „kinyitva” a korábban zárt világot, a világegyetemet végtelenné tette.*⁵³ Ez a változás pedig a világegyetemről alkotott elképzelések történetének tekintetében jóval nagyobb fordulat, mint a Föld és a Nap kopernikuszi helycseréje – még akkor is, ha ezen utóbbi társadalmi, gondolkodás- és kultúrtörténeti hatása volt a megrázóbb. Brunónál az állócsillagok szférikus elhelyezkedése térbelivé transzformálódik, s maguknak az állócsillagoknak a mozdulatlansága is megkérdőjeleződik. A világok végtelen sokaságáról szóló tanításával pedig újból fölidézte a végtelen kozmosz és a véges világok – Bruno természetfilozófiájában a „világegyetem” és a „világok” – fogalmának atomista megkülönböztetését, és a kozmikus kitüntetett helyeknek teljesen híján lévő homogén világegyetemet. Mindez pedig annyira újszerű volt, hogy olyan neves személyiségek sem fogadták el a brunói tanokat, mint Galilei vagy Kepler.⁵⁴

A világok végtelen sokaságát állító tan újrafogalmazásával így Bruno a világegyetem absztrakt struktúráját tekintve a Leukipposz és Démokritosz, majd Epikurosz és Lucretius által képviselt

⁵¹ A horizont bővülésén túl a távcső a kozmosz korábban föltételezett méreteit is átdimenzionálta. Vö.: Albert van Helden: *The Telescope and Cosmic Dimensions*, in: Taton and Wilson (eds): id. mű: 106–108. o.

⁵² Giordano Bruno (1548–1600): olasz domonkosrendi szerzetes, panteizmus felé hajló filozófus. Kopernikusz rendszerének első követői és tanítói közé tartozik. Ő az, aki elsőként tekinti a csillagokat napunkhoz hasonló égitesteknek, s megfogalmazza a világegyetem végtelenségének és a világok sokaságának – formálisan az ókori görög atomisták tanítására emlékeztető, de tőle jelentősen különböző – modern tanát. Panteista jellegű filozófiai-tológiai nézeteiért az inkvizíció elítéli, s 1600-ban Rómában, a Virágok terén elégetik. A későbbi Galilei elleni pert visszavetítve elégettetését a XVI. század közepétől kopernikanizmusának tulajdonították, s ennek nyomán még ma is gyakran a modern természettudomány első mártírját látják benne. Fontosabb csillagászati tartalmú művei: *Hamvazószerdai lakoma; A végtelenről, a világegyetemről és a világokról*.

⁵³ Vö. pl. Koyré, Alexandre: *From the Closed World to the Infinite Universe* (The Johns Hopkins Press, Baltimore, 1957), 28–57. o.

⁵⁴ Vö. pl. Koyré: id. mű.

kozmológiát elevenítette föl. Ez azonban csak világegyetemének absztrakt struktúrájára igaz, egyébként – annak ellenére, hogy ő maga is Lucretiust idézi elődjeként – *a Bruno-féle világegyetem radikálisan különbözik a görög atomisták világegyetemétől*. Amíg ugyanis – mint ahogyan ezt láttuk – az atomistáknál az állócsillagok birodalma a mi világunknak a részét képezi, s így a többi, ezen kívül egzisztáló világra semmi empirikus jelzés sem utal – aminek következtében az ezekre vonatkozó hipotézis teljesen absztrakt marad –, addig Brunónál a „mi világunk” csupán napközéppontú bolygórendszerünkkel azonos, s a másik világokat a Nappal azonos természetűnek tekintett állócsillagok és az esetleg körülöttük keringő bolygók jelentik. Így az atomisták empirikus horizontunkon elvileg kívül eső világaival szemben Bruno világegyetében az éjszakai csillagos ég másik világok számtalan sokaságát tárja a szemünk elé. Azaz, amíg világunk mind az atomistáknál, mind pedig Arisztotelésznél és Kopernikusznál zárt világ, melyet az állócsillagok szférája fog körbe, s csak az a különbség közöttük, hogy Arisztotelész és Kopernikusz számára ez a világ magával a végesnek tartott kozmossszal azonos, az atomisták pedig rajta kívül végtelen sok hasonló világ létezését föltételezik, addig Bruno világai – s így a mi világunk is – nyílt világok, melyeket nem zár el semmiféle határ egymástól. *Az atomistáknál a mi bolygórendszerünk és a csillagok együtt csupán egyetlen világot képeznek a végtelen sok hasonló, de számunkra láthatatlan, tapasztalatilag hozzáférhetetlen világ között. Brunónál Arisztotelészhez és Kopernikuszhoz hasonlóan bolygórendszerünk és a csillagok együtt nem csupán egyetlen világot, hanem az egész világegyetemet alkotják*. Bruno nem úgy jut el a végtelen világ fogalmáig, hogy az atomisták értelmében vett végtelen sok világ létezését föltételezi, hanem éppen ellenkezőleg: a „csillagok = napok” természetfilozófiai tétel nyomán – mind az atomistáktól, mind Arisztotelésztől és Kopernikusztól eltérően – azokat a csillagokat tekinti önálló világoknak, melyek az előbbieknél egyrészt sem nem napok, másrészt sem nem önálló világok, hanem csupán a mi világunk részei, alkotóelemei.

Ezért Bruno esetében a kozmológiai értelemben vett „másik világok” empirikus világunk részét alkotják, rálátunk azokra, s így a „mi világunk”, mint kozmikus egység, *s z ű k e b b empirikus világunknál*. Ennyiben Bruno kozmosza Arisztotelész és Kopernikusz kozmoszához hasonlít: empirikus világunk abban az értelemben Brunónál is a világegyetemmel egyenlő, hogy az általunk nem látható távoli régiók az empirikusan megjelenő régióhoz hasonlóan csillagokat tartalmaznak. Ezért *a világegyetem Arisztotelésznél, Kopernikusznál és Brunónál egyformán a mi bolygórendszerünk és a csillagok együttesével azonos, csak éppen Brunónál átalakult szerkezettel: az arisztotelészi csillagszféra a végtelen tér mélységeiben szétszórt, azt homogén módon kitöltő csillagvilággá transzformálódik*.

A világok sokaságára vonatkozó ókori hipotézis ezen empirikus tartalmú újrafogalmazása az állócsillagok természetére vonatkozó brunói föltevés konzekvenciája: annak következtében, hogy ezeket Bruno a Naphoz hasonló égitesteknek tekinti, a Föld után eltűnik a Nap kitűntetett pozíciója is, s a csillagok mint a Naprendszerhez hasonló kozmikus egységek középpontjai jelenhetnek meg Bruno számára, aminek révén lehetővé válik, hogy a kozmikus egység értelmében használt „világ” fogalmát ezekhez rendelje hozzá. Ennek következtében a csillagok természetére vonatkozó brunói hipotézis nyomán egy olyan új kozmológia születhetett meg, mely a tárgyalt párhuzamok ellenére sem tekinthető valamely korábbi kozmológia variánsának: *Bruno volt az első az ókori görögök után, aki eredeti kozmológiát alkotott*.

A Bruno-féle kozmológiai fordulat lényegét az „empirikus homogenitás” kulcsfogalmával ragadhatjuk meg. Világegyetem-modellje ugyanúgy homogén térben és időben, mint az atomista modell, ugyanúgy a végtelen kozmosz parányi töredékévé s a végtelen sok világ egyik esetleges

példányává redukálja a mi világunkat, mint az atomista kozmológia, s így a dezanropomorf, ateleologikus viláértelmezés szempontjából rendelkezik mindazokkal a kedvező jegyekkel, mint amelyekre az atomista kozmológia kapcsán már rámutattunk. Ugyanakkor az atomistákkal szemben e homogenitás Brunónál mégsem pusztán spekulatív homogenitás, mely szemben áll az empirikus világ hierarchikus struktúrájával – ahol a Föld a középpont és az állócsillagszféra a perem –, hanem a „csillagok=napok” hipotézis következtében Bruno számára kozmikus környezetünk mint naprendszerekkel homogén módon kitöltött térrégió jelenik meg, s a világegyetem homogenitása az ily módon számunkra empirikusan is megjelenő, környezetünket jellemző kozmikus homogenitás kivetítése a végtelen térbeli régiókra. Persze Bruno kozmológiája filozófiai – sőt teológiai – jellegű, s érvelése így deduktív s spekulatív. Ám a most elemzett empirikus mozzanat még így is megjelenik nála: Isten tökéletességéből következik, hogy a tér mindenütt egyformán jó világok befogadására, s ha itt a mi világunkat fogadja be, máshol is ehhez – azaz a tapasztalt(!) – világhoz hasonló világokat kell befogadnia.

Ez az empirikus vonatkozás elsősorban Bruno kozmológiájának Brunót követő története miatt fontos. A kibontakozó újkori gondolkodás természetképét ugyanis szintén a természet, s ennek részeként a tér és az idő homogenizálása jellemzi – mint láttuk, a földi és az égi fizika egységesítése is ilyen homogenizáló mozzanat volt –, s viláértelmezésében ugyanakkor a dezanropomorf, ateleologikus tendenciák dominálnak. S amíg az atomisták homogén világegyetemének spekulatív volta ellentétbe kerül az újkori természettudomány szempontjából szintén alapvető empirikus orientációval, Bruno kozmoszának „empirikus homogenitása” összhangba volt mind ezzel, mind pedig az előbb említett tendenciákkal. Ez a magyarázata annak, hogy bár Bruno állításait a világok végtelen sokaságáról és a világegyetem végtelenségéről a napközéppontú rendszer hívei sem fogadják egyértelmű tetszéssel így Galilei szkeptikus, Kepler pedig határozottan harcol a brunói végtelen világegyetem ellen –, a XVIII. század elejére már Bruno az újkori természettudomány és csillagászat evidenciális kozmológiai háttereként szerepel, s már csak nagyon kevesen kételkednek abban, hogy a világegyetem végtelen, a csillagok pedig napok, melyek nem szférán, hanem térbeli mélységben helyezkednek el.

C) A modern matematika kialakulása

Kiss Olga

A görög matematikai tradíció európai megszakadásának az oka közismert módon az, hogy az antik kultúra hanyatlásával a matematika művelésének központja is Bizánc lett. E századokban Boethius egyszerű, Eukleidész-töredékeket is tartalmazó munkája (*Institutio arithmetica*, azaz *Bevezetés az aritmetikába*, i. sz. 500 körül) volt a matematika művelésének legfőbb forrása.⁵⁵ Noha a hét szabad művészet között ott volt a geometria és a számelmélet, ezek csak elemi szintű ismereteket jelentettek, különösen az akkor már létező magas szintű antik-arab elméleti tudáshoz képest. A nyugat-európai kolostorokban már nem ugyanaz a pezsgő szellemi élet zajlott, mint a pár száz évvel korábbi Athénban, vagy akár még Alexandriában is.

⁵⁵ Boethius volt az, aki Cassiodorus-szal együtt a püthagoreus *mathémata* négy eleméhez, a kvadratumhoz – zene, aritmetika, csillagászat és geometria – hozzávette a triviumot – grammatika, retorika és dialektika. E hét szabad művészet volt az elkövetkező fél évezredben az iskolai oktatás alapja, már ami a teológiával kevésbé szoros kapcsolatban álló ismereteket illeti.

Az itt következő fejezetben azt fogjuk szemügyre venni, hogyan éledt újjá ez a szellemi élet egy egészen új területen: Nyugat-Európában. A folyamat a mába nyúlik – benne állunk a hagyományban, melynek történetét írjuk, s a fordulatok sorában az egyik legjelentősebb még alig száz éve zajlott. Itt most az azt megelőző, tehát a XIX. századig terjedő korszak lesz vizsgálódásaink tárgya. A modern matematika születésekor nem csupán a forrásokat tekintjük át, de figyelmet szentelünk annak is, miként alakult át eközben a klasszikus görög matematikai paradigma. Mely vonásait őrizte meg, s melyeket hagyta el a modern korban.

1. A nyugat-európai matematika forrásai

Sajnálatos módon azt kell mondanunk, hogy az európai kultúra újjászületését két harci cselekmény tette döntően lehetővé. Az egyik Toledo eleste (a mi oldalunkról bevétele), mellyel az antik kultúra mór könyvtárakban őrzött hatalmas kincsestára feltárult az európai értelmiség előtt. Már csak arra volt szükség, hogy az arab szövegeket lefordítsák latinra. A másik pedig Konstantinápoly török kézre kerülése, aminek következtében az onnan mernekülő görögök számos görög nyelvű kéziratot hoztak magukkal, melyek befogadására Európa addigra már éppen felkészült.

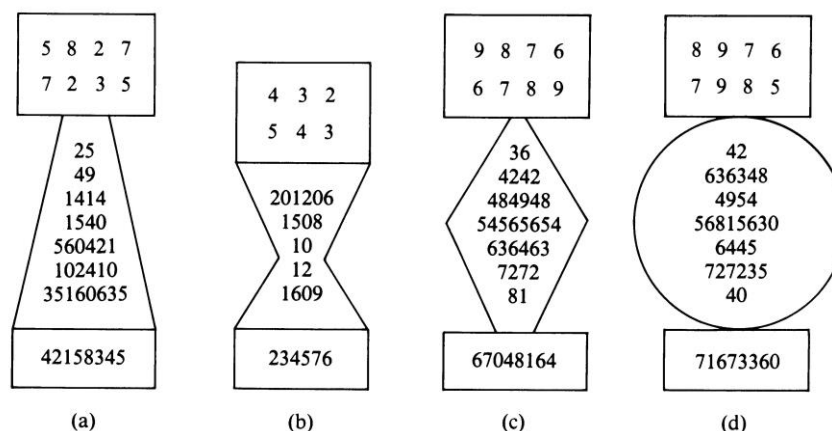
A móroktól „visszahódított” Spanyolország könyvtáraiban felfedezett tudományos szövegeket a XII–XIII. században kezdték latinra fordítani, hogy az akkori (mi szempontunkból nézve) művelt világ is megismerhesse azokat. Ezek az arab nyelvű munkák részben az eredeti görög szövegek hellenisztikus korban keletkezett fordításai voltak, részben pedig eredetileg is arab nyelven íródott önálló művek, kivonatok, kommentárok, magyarázatok. (A matematikai ismeretek egyik legfőbb forrását jelentő euklideszi *Elemek* görög szövegének ismerete egészen késői eredmény.)

Az arabok azonban nem egyszerűen csak közvetítették az antik görög ismereteket. Hozzájárulásuk az európai gondolkodásmód kialakulásához ennél jóval nagyobb horderejű. Az algoritmikus gondolkodásmód, az algebra és a segítségével kialakuló függvényelmélet, sőt, a helyi értékes számolás és a nulla alkalmazása is az arab hatásnak köszönhető. A nullát és az arab számokat, melyekkel ma oly egyszerű a számolás, hogy kisgyerekeknek tanítjuk az általános iskolában, ők hozták Indiából. Az algoritmus szavunk Al Hvárizmi nevének latin alakjából (Algorismus) származik, aki Aritmetikájában bemutatja az ezekkel való számolás művészetét.

Sevillai János is így foglalja össze művének lényegét: *Algorismus könyve a gyakorlati aritmetikáról* (ez 1134–1153 körül jelent meg). Korábban ugyanis az alaplételek elvégzéséhez kényelmesnek egyáltalán nem mondható római számok voltak Európában használatosak. Abakuszon, azaz számolótableán számoltak kis kövecskéikkel – éppúgy, mint az antik görögök –, majd az eredményt leírták. Nos, könyvviteli szempontból lényeges, hogy a római számokat nem lehetett hamisítani, az arab számok pedig olyanok, hogy elég csak mögé írni egy-két nullát, máris egészen mást jelent. Erre hivatkozva a kereskedők szívesebben alkalmazták a régi módszert, még akkor is, ha az új mellett szólt egyszerűsége, eleganciája és áttekinthetősége. Több száz évig folyt a harc az abacisták és az algoritmikusok közt, az álláspontok összemosódtak. Fibonacci *Liber abacija* például – címével ellentétben – nem az abakuszon való számolásról, hanem éppen a hindu számjegyek használatáról szól, az összeadástól a gyökvonásig. Az abakusz szót már kezdték használni az egész aritmetikára.

Eközben az itáliában a XIV. században magánszemélyek által alapított világi iskolákban matematikára és könyvvitelre oktatták a kereskedelmi és pénzügyi pályára készülő fiatalokat. Az eredetileg homoktableán végzett arab számolás, melynél az egyes részeredményeket mindig letörölték, hogy helyére írassák a következőt, a papír olcsóbbá válásával és elterjedésével kissé

átalakult. Számos különböző formában rögzítették a szorzások és osztások részeredményeit (érdeemes "visszafelé" gondolkodva a kész számalakzatokból kikövetkeztetni, milyen szabály alkalmazása vezethetett ezekhez az eredményekhez, és azután mai technikánkkal megvizsgálni, helyes-e):



A ma használatos algoritmus és forma már egyértelműen az itáliai számológépek kreativitásának gyümölcse. Végül az új számírás elterjedését és végső győzelmét – mint oly sok másét is – a könyvnyomtatás hozta meg a XV. században. A félreértések elkerülése végett azonban máig megmaradt a számoknak szavakkal történő leírása a váltókon és egyéb pénzügyi manővereknél, ahogy azt a viták sűrűjében Firenzében még 1299-ben javasolták az új számírás ellenzői.

Talán lényegtelennek látszik a probléma, mégis jelentős. Az antik matematika egyik korlátja ugyanis éppen a kifejezésmód nehézsége volt. Ennek csak egyik aspektusa a számoláshoz nem igazán kényelmes jelölés használata. A másik az, hogy minden összefüggést szavakkal mondtak el és írtak le, azaz nem használtak formulákat. A képletek használata többszáz éves folyamat eredményeképpen lépésről lépésre alakult ki Európában, mégpedig úgy, hogy – éppen az újfajta számítási eljárások keretében – először az algebrai műveleteket kezdték szimbólumokkal jelölni, majd az egyenletekben szereplő ismeretlent és a számokat (a függvényeket stb.). Ha most algebrát említek, akkor persze nem a mai algebrára kell gondolni. Látni fogjuk, milyen hosszú fejlődési folyamat eredményeképpen alakult ki e diszciplína mai formája. De nézzük először a forrást!

2. Al Hvárizmi algebrája

A már említett Al Hvárizmi munkája: *Rövid könyv a kivonás (dzsabr) és az összevonás (mukabala) számolásról* (Latin fordításban: *Liber algebrae et almucabola*) az egyenletek megoldásának módszereiről szól, alapvetően még geometriai területátdarabolási technikákkal. E könyv gyakorlati céllal íródott, végrendeletek és örökségek problémáival kapcsolatos első- és másodfokú egyenletek megoldását tartalmazza. A közönséges számok mellett megkülönböztet gyököket és négyzeteket is. Az egyenletek, melyekkel foglalkozik, a következők:

a négyzet egyenlő a gyökkel, a négyzet egyenlő egy számmal, a gyök egyenlő egy számmal, a négyzet és a gyök egyenlő egy számmal, a négyzet és a szám egyenlő egy gyökkel, a gyök és a szám egyenlő a négyzettel.

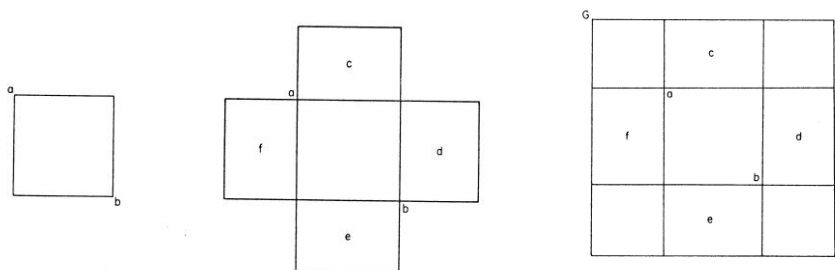
Már az is érdekes kérdés lehet a történeti szövegek tanulmányozásában járatlan olvasónak, hogy egyáltalán miről is van itt szó. (Súgok: az első – mai jelöléssel – az $ax^2 = bx$ alakú egyenleteket

jelenti. A többinek kitalálását ezután már az olvasóra bízom.) Láthatjuk, milyen körülményes az esetszétválasztás. A szöveget olvasva az is feltűnő, hogy sem a nulla, sem a negatív gyököt nem veszi figyelembe. Negatív és pozitív számok sincsenek benne, csak kivonandók és hozzáadandók. Ami pedig az egyenletek megoldását illeti, Al Hvárizmi – éppúgy, ahogy az ismeretlen szerző annak idején az írnokoknak szóló babiloni iratokban – egyszerűen ad egy példát mindegyikre.

„Melyik az a négyzet, amely a gyökének tízszeresével együtt összesen 39-et ad? Az ilyen egyenlet megoldásának módja, hogy vegyünk az említett gyökök felét. Az előttünk álló feladatban 10 gyök van, tehát vegyünk 5 gyököt, melyet önmagával megszorozva 25-öt kapunk, melyet adjunk a 39-hez, ami 64-et ad. Vegyük ennek a négyzetgyökét, az 8. Vonjuk ki belőle a gyök felét, azaz az 5-öt. Ez 3. A három a négyzetnek az egyszeres gyöke, így a négyzet maga természetesen 9.”⁵⁶

(Feladat: Ellenőrizzük le mai technikánkkal!)

Al Hvárizmi azonban – szemben a babiloniakkal – a szabály megadása mellett geometriai úton is *megmutatja* a megoldás menetét. A bizonyítás úgy kezdődik, hogy vesz egy ismeretlen oldalú négyzetet. Ez, valamint egy olyan téglalap, melynek egyik oldala az ismeretlen, a másik pedig tíz egység együtt 39-et ad. A négyzet oldalaira tehát olyan téglalapokat állít, melyek másik oldala a 10 negyedrésze (2,5 egység). A sarkokban kimaradó kis területek együtt $4 \times 2,5 \times 2,5 = 25$. Ha ezt hozzávesszük az ábrához, akkor a feladat értelmében $39 + 25 = 64$ -et kapunk, melynek gyöke 8. Ebből már valóban csak le kell vonni az 5-öt, és megkapjuk az ismeretlent (l. az ábrát).



Ötletes és egyszerű: a geometriai demonstráció pontról montra megmutatja az algebrai szabály alkalmazásának geometriai értelmét. Hasonló okoskodásokat kockákkal és hasábokkal harmadfokú egyenletek megoldásához még a reneszánsz mesterei is alkalmaznak. Cardano már explicit módon így építi fel aritmetikáját: *Questo, Regula, Demonstratio* (azaz: feladat vagy kérdés, szabály, bizonyítás, vö. *De Arithmetica ...*, 1538).

A bizonyítás segített megértetni, hogy a szabály miért működik, történelmi jelentősége mégis a geometriai demonstrációt megelőző kivonási és összevonási technikának lett. E technikák képezték az alapját az algebra és az európai matematika fejlődésére jellemző újfajta szimbólumhasználat kialakulásának. Az egyes szavak, mint négyzet, köb, ismeretlen (a dolog) szimbólumokká rövidültek a használatban. E szimbólumokkal – képletekkel – megtanultunk számolni, megismertük a logikájukat, és ma már bizonyításainknak is ezek képezik az alapját. Íme, az egyik jellemző különbség az antik és a modern európai matematika között. A szimbolikus algebra kezdete tehát Al Hvárizmi munkáinak latinra fordításáig nyúlik vissza.

⁵⁶ D. J. Struik (ed.): *QA Source Book in Mathematics* (Harvard University, Cambridge, 1969).

3. Az európai matematika reneszánsza

A reneszánsz matematikatörténeti vonatkozásban is azt jelentette, hogy újraéledt a klasszikus tradíció. Azért beszélek immár többször is hagyományról, mert nem csupán az elméletekről van szó. Ha pusztán a tételek és matematikai rendszerek fejlődését tekintenénk a tudománytörténet lényegének, s eltekintenénk a kontextus és az értelmezési keret másságától, a középkort és a reneszánszt akár ki is hagyhatnánk. Ebben az időszakban ugyanis nem születtek olyan eredmények, melyek felülmúlták volna az antik mesterek tudását.

A kultúra – s ennek részeként a matematika – művelése azonban nem csupán a szövegek meglétén múlik. A tudást életben kell tartani, ez pedig csak úgy lehetséges, ha az egymásra következő nemzedékek újra meg újra elsajátítják, és új életet adnak neki. Ez az a hagyomány, ami a görög kultúra hanyatlásával megszakadt itt Európában.

Az arab és antik görög(–római) szövegekkel megismerkedve az európai kultúra, és benne a matematika a XII–XIII. században hirtelen gyors fejlődésnek indult. A fordításokat elsősorban fejedelmi udvarokban (pl. X. Alfonzó) és fordítóiskolákban (pl. Toledóban) készítették orvosok, asztrológusok, tudósok és filozófusok, főként a mai Spanyolország és Szicília területén. Innen terjedt el a tudás a kontinensen az egyetemeken (XI. század Salerno, 1100 Bologna, XII. század Párizs, 1209 Cambridge, 1348 Prága, 1364 ismét Prága, 1365 Bécs, 1367 Pécs, 1385 Heidelberg, 1388 Köln, 1409 Lipcse, ...) és világi iskolák révén. A fordítók így nagy szerepet kaptak az új-antik ismeretek közvetítésében. Az angliai Adelard lefordította többek között Al Hvárizmi aritmetikai munkáját, és Eukleidésztől az *Elemeket*, Gerhardo Apollóniosztól a *Kúpszeleteket*, Ptolemaiosztól az *Almagestet*, Hvárizmi *Algebráját*. A XIII. században Campano újra fordította az *Elemeket*, még mindig arabból (görögből először Zamberti tette át latinra, ez 1505-ben jelent meg).

Apollóniusz és Arkhimédész művei ekkor még a legműveltebbeknek sem voltak egyszerűek, és ez jól látható a fordítások színvonalán. A fordítás ugyanis nem pusztán a szavak egymás után tétele. Matematikát nem – ahogy mást sem – lehet fordítani pusztán jó nyelvtudással, a szöveg értelmének felfogása nélkül. Ezek a fordítások valójában inkább az európai kultúra első ismerkedései voltak az elődök nagyszerű eredményeivel. Ugyanakkor ösztönzést is jelentettek, és kijelöltek valamiféle irányt is, hogy mi az, amit még meg kellene érteni. Ez a megértés azonban – mint látni fogjuk – már nem az antik alapokon jött létre.

Az arab számolási eljárások és egyenlet-megoldási módszerek új, technikaibb szemléletet hoztak. A reneszánsz idején felértékelődött hétköznapi–gyakorlati tudás, mely lehetővé tette a klasszikus tudományos (mechanikai, optikai, építészeti ...) szövegek valódi elsajátítását, szintén ezt a technikai szemléletet erősítette. Megmaradt a teoretikus, bizonyításra törekvő tudás elismertsége, megjelent azonban a gyakorlati tudomány is.

A *practica* és *theorica* megkülönböztetése a XII. században keletkezett a mai Spanyolország területén. A kifejezés első előfordulásakor a gyakorlati geometria (*Practica geometriae*, Paris, 1130 körül) még nagyon alacsony színvonalú. Ám a gondolat világos: az elméleti geometria a görbék, testek, felületek tulajdonságait vizsgálja, a rájuk vonatkozó összefüggéseket keresi, bizonyítja és tanítja. A gyakorlati geometria a való élet kihívásainak tesz eleget, valódi hosszúságok és területek mérésével, alakzatok létrehozásával foglalkozik, s ehhez különböző segédeszközöket alkalmaz. Az alkalmazott tudománynak tehát nem a bizonyítás a célja, azt a teoretikusokra bízta. Az ő feladata, hogy megtalálja a saját problémájának megoldására alkalmas elméletet, és a megfelelő módon képes legyen azt hasznosítani. Így Arkhimédész, aki egyaránt közismert bizonyításai szigoráról és technikai újításairól, a legnagyobb becsben tartott szerzők egyike lett e korban. Ne feledkezzünk meg, még ha közismert is, a matematika és a festészet új

viszonyáról a reneszánszban: a geometriai ismeretek által lehetővé tett perspektivikus ábrázolásmódról. Az építészet hasonlóképpen sokat merített az antik arányelméletből és általában a matematikából. Ekkor kezdődött az épületek mai értelemben vett tervezése is. A matematikai módszerek alkalmazása a középkor és a reneszánsz idején mégsem csupán a technika fejlődésére volt jó hatással, hanem maguknak az elméleti konstrukcióknak is számos esetben inspirációt jelentett. Niccolò Tartaglia például, aki az ágyúgolyók röppályáját vizsgálva nem éppen ártalmatlan elméleti matematikát művelt, s akit mi már nem tűzértishti ismeretei miatt értékelünk, e kísérleteivel (egyéb később említendő eredményei mellett) hozzájárult a mozgás matematikai vizsgálatának, és ezen keresztül a matematikai analízisnek a kialakulásához. Kepler a boroshordók térfogatának meghatározására dolgozta ki azt a módszert, mellyel végül hozzájárult az integrálszámítás kialakulásához.

Összegezve tehát sem a gyakorlati, sem az egyetemeken – többnyire a Szabad Művészetek Karán – a quadrivium keretei között oktatott matematika kezdetben még nem volt túl magas színvonalú, és nem is hozott sok újdonságot. Az első matematikai tudományok tanítására szakosodott professzor valószínűleg a Gmundenből származó Johann volt a Bécsi egyetemen 1412-től. A tekintélyelvű skolasztikus is szellem aligha tett jót a matematika művelésének, mégis mindig voltak olyanok, akik nem dogmaként tekintettek a matematika igazságaira. A történet diadalmas része többek közt róluk szól.

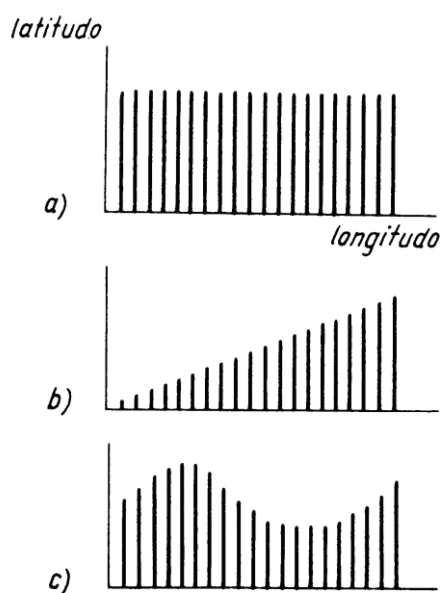
Ilyen volt például az oxfordi Merton College-ban 1323–35-ig dolgozó Thomas Bradwardine, aki *De continuo* című művében újraélesztette az antik vitát az atomizmusról. Ennek jelentősége nem pusztán filozófiai. A könyv a diszkréttség és folytonosság problémáját, a végtelen nemeit és szélsőérték-problémákat tárgyal. A kérdés nem is annyira a skolasztika idején, mint inkább a XVII. században válik majd nagy jelentőségűvé. Egyelőre inkább a számokkal kapcsolatos fogalmak kiterjesztésének első próbálkozásairól van szó. Megfogalmazza az irracionális arány (1 aránya $\sqrt{2}$ -höz) és a $\sqrt{2}$ mint $1/2$ -ik hatvány gondolatát. Az ő munkásságát követve Nicole D’Oresme Franciaországban már leírja a törthatványokkal végzett műveletek szabályait is.

Oresme még egy kérdést tárgyal, mely a mi szempontunkból nézve igen jelentős. Mint emlékszünk, Arisztotelész és az antik tudomány éppúgy, mint a skolasztika az olyan minőségeket, mint sebesség, fehérség, jószívűség, melegség, ... nem tartották mérhetőnek. Oresme azonban ezek intenzitásának (intensio) összehasonlítása végett sajátos ábrázolásmódot alkalmaz. Vegyük például a mozgást és intenzitását (sebesség). Ennek extenziója lehet a megtett út, de akár az idő is, melyet egy vízszintes szakaszon (longitudo) mér. Az intenziókat pedig a megfelelő pillanathoz tartozó, e tengelyre állított merőlegesek (latitudo) segítségével hasonlítja össze. Háromfajta mozgás „formáját” látjuk az ábrán: a) az *uniformis* (egyenletes), b) az *uniformiter difformis* (egyenletesen változó) és c) a *difformiter difformis* (változóan változó) mozgását.

Ismerős? Hát igen. Mintha csak függvénygörbét rajzolna, miközben természetesen még szó sincs a mai értelemben vett függvényekről, sem görbéikről. Ezek a kutatások éppen azért fontosak számunkra, mert olyan módszerekhez adtak alapötletet, melyeket ma a legszélesebb körben használunk.

Oresme azt is le tudta olvasni az ábráról, hogy a sebesség–idő görbe alatti terület megadja a megtett utat. Ez az egyenletesen változó esetben:

$$s = t(v_0 + v_1) / 2$$



Oresme ábrázolása a mozgás különböző formáiról

A korszak végére Galilei révén a tényleges mozgások (pl. szabadesés) tudományos feldolgozása is megszületett. Az út-idő és a sebesség-idő görbe közötti kapcsolat általános megfogalmazása a XVII. század eredménye lesz. Oresme munkája éppúgy, mint az *algorismus*, az egyetemi oktatás része lett, így ténylegesen elősegíthette a matematika fejlődését, megtermékenyíthette az új tudósnemzedékek gondolkodását.

A reneszánsz idején az európai kultúra az antik matematikai ismereteket próbálja megérteni és feldolgozni. Azok a munkák, melyek ebben az időszakban születnek, jórészt e hagyomány újrendezésével, új szempontú átgondolásával foglalkoznak. Sokan foglalták össze egy-egy területre vonatkozóan az akkor fellelhető összes ismeretet (ők még megtehették). Úttörő matematikai kutatások folytak viszont az algebra, annak geometriai alkalmazása, valamint az oxfordi Merton College, Bradwardine és Oresme munkáira támaszkodva a mozgás matematikai tanulmányozására terén.

Fontos szerepet játszott a reneszánszra jellemző módon a hétköznapi tudás felértékelődése. A városi kereskedőiskolákban a nép nyelvén tanítottak, a papíron írásban végzett számolás művészetét követték. A XIV. században már megjelentek az első skandináv, német, cseh, lengyel és angol nyelvű könyvek e témában.

Történetileg több évszázadra elnyúltak azok a folyamatok, melyeket itt röviden kell jellemeznünk. Az új szemléletmód alapja ugyanis épp az algebra lett, melynek segítségével a geometriai problémák újfajta kezelése is lehetségessé vált.

Noha a geometriai és algebrai problémákör egyesítése Descartes érdeme, az első ilyen gondolatok két évszázaddal korábban megjelentek. Már Regiomontanus használta az araboktól átvett *algorismus* módszerét háromszög- szerkesztési problémák megoldásakor (*De triangulis omnimodis libri quinque*, azaz *Öt könyv mindenféle háromszögekről*, 1462–64). Ő volt az is, aki elsőként megadta a gyökmennyiségek műveleti szabályait. Nicolas Chuquet (*De triparty en la science des nomres*, *A számok tudománya három részben*, 1484) a hindu–arab számírás segítségével ismerteti a racionális és a negatív számokra vonatkozó műveleti szabályokat, noha ezeket még jó ideig nem tekintik valódi számoknak. Művében már tökéletesen kidolgozott algebrai jelölésrendszert találunk. Alkalmazza az összeadás és a kivonás műveletére a ma is használatos

jeleket, melyek minden bizonnyal Jan Widmann könyvében (*Gyors és szép számolás minden kereskedő számára*) jelentek meg először 1485-ben (e jelölésmódok eredetéről különféle feltevések vannak). Ekkoriban már negyedik és ötödik hatványokat és gyököket is jelöltek, azaz az egyenletmegoldás végleg elszakadt a geometriai korlátoktól.

4. Az algebra európai megjelenése

A modern algebra forrását valójában a már korábban említett Leonardo Pisano, azaz Fibonacci 1202-ben megjelent *Liber abacii* jelenti. E könyvben találkozunk először a geometriai eredettől elszakadó, harmadrendűnél magasabb hatványokkal: a négyzet négyzetével (*census de censo*) és hatodik hatvánnyal (*cubus cubi*). Olvasói a világi iskolákban kereskedőnek, térképrajzolónak, mesternek vagy építésznek készültek. Az idők folyamán a használatban a *regola dell'algebra* ammucabola lerövidült *regola della cosa*-vá, azaz a dologra vonatkozó szabályra, ahol a dolog, amiről beszélünk, az ismeretlen a cosa.

Luca Pacioli *Az aritmetika, a geometria, az arányok és az arányosságok összegzése* (*Summa de arithmetica, geometria proportioni et proportionalita*, 1494, Velence) már több számjelölést is használ: no (*numero*) – szám, co (*cosa*) az ismeretlen, ce (*censo*) – a négyzet ...

Niccolo Tartaglia (*Trattato di numeri e misure*, azaz *Értekezés a számokról és mértékekről*, 1556–60) már megadja a hozzájuk tartozó kitevőket is:

<i>n (numero)</i>	0
<i>co (cosa)</i>	1
<i>ce (censo)</i>	2
<i>cu (cubo)</i>	3
<i>cece</i>	4
<i>pri relato</i>	5
<i>cecu</i>	6
<i>2° rel</i>	7
<i>cecece</i>	8
...	
<i>9° rel</i>	29.

(Kérdés az olvasóhoz: mi lehet a *pri rel*, vagy általában az *n° rel*?)

A XVI. században az algebra fokozatosan átalakul. Míg korábban szavakkal megfogalmazott szabályokat láthattunk (pl. Al Hvárizminál), azaz ún. retorikus algebrát írtak, addig mostanra a szavak helyére fokozatosan szimbólumok kerülnek, és kialakult a modern matematikára jellemző képletek alkalmazása.

Ha már Tartagliánál járunk, említést kell tennünk a reneszánsz matematika egy jellemző intézményéről. Ebben az időben számológépek járták az országokat, tanítottak, kereskedők és iparosok számára készítettek számításokat, fejedelmi udvarokban vettek részt matematikai viadalokon. Tartaglia is ilyenféle dolgokkal foglalkozott. A köb plusz dolog egyenlő szám (azaz $x^3 + bx + c = 0$ alakú) egyenletek általános megoldási módszerét ezek megoldhatóságáról tett egy könnyed kijelentésének és a rá következő matematikai párviadalnak köszönhetjük (a módszert Tartagliának valójában csak a viadal előtti éjjelen sikerült összehoznia). Tudását titoktartási fogadalom mellett átadta a téma iránt nagyon is érdeklődő orvosnak, Cardanonak, aki ezt megtartotta egészen addig, amíg egy hagyatékban rá nem lelt a képletre. Ekkor viszont (1545-

ben) megírta az *Ars magna sive de regulis algebraicis*, melyben már általános megoldási eljárást ad az összes teljes harmadfokú egyenletre (az esetszétválasztásra még mindig azért volt szükség, mert a negatív számokat nem tekintették számnak), valamint közli barátja, Lodovico Ferrari módszerét is a negyedfokú egyenlet megoldására.

A reneszánsz algebra egyik kiemelkedő alakja Francois Viète. *In artem analyticam isagoge*, azaz *Bevezetés az elemzés (analízis, itt: algebra) tudományába* (1591) című fő művében egységesíti korának egyenletmegoldási eljárásait, és több olyan jelölést vezet be, melyeket a mai napig használunk. Ennek segítségével általános alakra hozva a harmadfokú egyenletek addig külön tárgyalt eseteit egyszerre tudta tárgyalni.

5. Algebrai geometria

A matematikát, mely a reneszánsz révén az újkorban önálló alakot öltött, legjobban talán a francia matematikus–filozófus katonatiszt, René Descartes munkája segítségével jellemezhetnénk. Leghíresebb könyvének (*Discourse de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans le sciences*, azaz *Értekezés az értelem helyes vezetésének és a tudományos igazság keresésének módszeréről*, 1637) a függelékékként közreadott *Geometria (La Geometrie)* az első modern matematikakönyv. Mitől modern? Egyesíti a görög geometriai és az arab algebrai hagyomány eredményeit, s így a geometriai problémákat új módon tudja kezelni.

Szövege lényegretörően a következőkkel kezdődik:

„A geometria bármely problémája könnyűszerrel bizonyos, a szerkesztéshez szükséges vonalak hosszának ismeretére egyszerűsíthető.”⁵⁷

Célja kettős: egyfelől megszabadítani a geometriát a görbékkel való bajlódás nehézségeitől, másfelől pedig a geometriai értelmezés segítségével a technikán túlmutató jelentést adni az algebrai eljárásoknak. Így, noha többnyire az analitikus geometria fejlődéséről szóló fejezetekben szokták tárgyalni a matematikatörténetek, e mű hasonló joggal tart igényt az algebra vagy az analízis történetében betöltött helyének elismerésére. Vegyünk például egy Hvárizmi algebrájából ismert egyenletet:

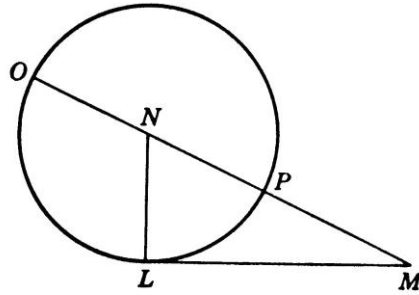
gyök és a szám egyenlő a négyzettel,

és nézzük, hogy kezeli ezt Descartes! Alkalmas helyettesítéssel írjuk egyenletünket az

$$az + b^2 = z^2$$

alakba.

⁵⁷ *The Geometry of René Descartes* (eds: Smith, D. E. – Lathan, M. L., Dover, New York, 1954).

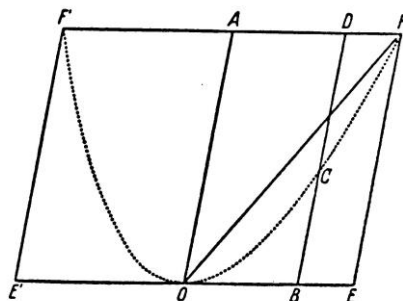


Az ismeretlen (z) megszerkesztését az ábra mutatja: állítsunk a b hosszúságú szakasz végpontjába (L) merőlegest, mérjük fel rá $a/2$ -t, és e pontban rajzoljunk kört $a/2$ sugárral. A kiindulásul szolgáló szakasz másik végpontját (M) és a kör közepét (N) összekötő egyenesnek a körrel vett metszéspontjai (O és P) lesznek a végpontjai az egyenlet két gyökét megadó szakaszoknak.

Descartes figyelmen kívül hagyja a negatív megoldást (ezt „hamis”-nak nevezi). Az egyenletek felírásakor az ab celejéről veszi a paramétereket, a végéről az ismeretleneket jelölő betűket. Ugyanazokat a szimbólumokat használja a kivonásra és összeadásra, mint mi. Ráadásul elszakad az antik hagyománytól abban is, hogy nem tekinti már területnek a négyzetet és térfogatnak a köböt. Így gond nélkül összead és kivon egymásból különböző hatványokat: erre mondják, hogy algebrai a szemléletmódja.

Az első könyv olyan problémákkal foglalkozik, melyek megoldásához elegendőek körök és egyenesek; a második könyv a geometriában tárgyalt görbék osztályozásával és tulajdonságaival, a harmadik pedig az egyenletekkel, gyökökkel és egyenlet-megoldási eljárásokkal. Módszere a geometriai problémák megoldására: megfogalmazza a feladatot az algebra nyelvén, egyenlet formájában, majd ezt algebrai átalakításokkal olyan egyszerűbb formára hozza, melyet már tud ábrázolni, így a megoldás utolsó lépése ismét geometriai.

Kicsit hiányérzetünk támad az olvasáskor: hol vannak hát a koordináták, ahogy mi ismerjük őket? A könyvben nem találjuk a rendezett párokat, sőt, azt mondhatjuk, hogy Oresme latitudjai és longitudjai még mindig közelebb álltak a mai felfogásunkhoz, mint Descartes-é. Ő nem is hivatkozik az európai elődökre – nincs is közvetlen bizonyítékunk arra, hogy ismerte-e munkáikat –, annál inkább az antik klasszikusokra. Geometriájának csúcspontja Papposz egy négy egyenesre és négy szögre vonatkozó mértani hely problémájának általánosítása.



Megközelítésmódja is sokkal közelebb áll az antik hagyományhoz. Ezért is vetették fel egyes matematikatörténészek (pl. J. L. Coolidge), hogy valójában már a görögök is felfedezték a koordinátageometriát. Arkhimédész például a következő módon definiálja a parabolát: egy

parallelogrammából indul ki, és annak OA középvonalából, a parabolát pedig azokkal a pontokkal definiálja, melyekre $BC : EF = BO^2 : EO^2$.

Hasonló összefüggést találunk – immár tételként – Apollóniosznál, aki a *Kúpszeletekben* szintén a görbék osztályozásával és tulajdonságaival foglalkozik. Látható a rokonság megközelítésmódjukban. Döntő különbség azonban Descartes és Apollóniosz (illetve Arkhimédész) között, hogy Apollóniosznál még semmiféle szerepet sem játszott az algebra, így a koordinátagometria egy lényeges motívuma hiányzik.

Descartes megközelítésmódjával azonban nemcsak a geometria, hanem a A függvénytan sokat nyert, annak dacára, hogy nála nincs szó sem függvényről, sem a görbéről. A függvény fogalma egyszerűen nem játszott szerepet geometriájának kidolgozásában. Ennek ellenére munkája nemcsak az új ábrázolásmódot hozott. Descartes elsőként definiálta (megfeleltetésként) a függvény fogalmát.

6. A végtelenül kicsinyek (infinitezimálisok)

Fermat, aki szintén foglalkozott Apollóniosz és Papposz feladataival, 1636-ban hasonló eredményekre jutott, s így Descartes-hoz hasonló joggal tarthatnánk őt is a koordinátagometria felfedezőjének, bár ő csak egyszerűbb problémák megoldására szorítkozott. Egyesek szerint ő Oresme ábrázolástechnikájából indult ki, míg más matematikátörténészek (pl. Boyer) szerint egyszerűen a reneszánsz algebrát alkalmazta az antik problémákra. Abban mindenesetre egyetértenek a történészek, hogy a Viète-féle jelölésekkel a kúpszeletek elméletét dolgozta ki új módon. Nos, Fermat foglalkozott szélsőérték-problémákkal is. Descarteshez írott egyik levelében például Papposz egyik feladatát vizsgálta: adott egy téglalap két oldalának összege. Mekkora legyenek az oldalak, hogy a maximális területet kapjuk? Papposznál a kérdés metszési probléma: az oldalak összege: a , a két oldal: a és $a - x$. Fermat a következő okoskodással oldja meg a problémát: a terület: $x(a - x) = ax - x^2$. Most menjünk egy kicsit odébb a szakaszon. Ekkor a terület:

$$(x + E)(a - x + E) = ax - 2Ex + aE - E^2 - x^2$$

Nagyon kicsi elmozdulásnál a két terület végtelenül kicsiny mértékben tér el egymástól, így az $aE - 2Ex - E^2 = 0$ egyenlethez jutunk, ezt E -vel osztva $a - 2x - E = 0$, és mivel E végtelenül kicsi, $a = 2x$. A megoldás tehát a négyzet.

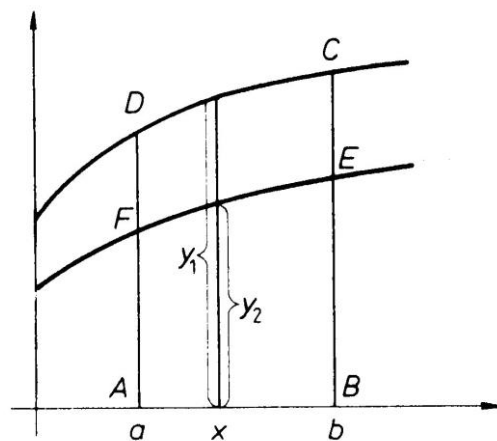
Kicsit furcsának tűnhet az okoskodás, hogy valami azonos is meg nem is valami mással. Mégis, módszere lényegében a $\lim (f(x + E) - f(x))/E$ határérték meghatározásán alapul: azokat a helyeket kereste, ahol ez nullával egyenlő. Így Fermat, ha úgy tetszik, nemcsak az analitikus geometria, de a differenciálszámítás felfedezőjének is tekinthető. Nem használta természetesen még a mi precíz fogalmainkat (ezek kidolgozásához majd kétszáz évre volt még szükség), ám a lényeg már megjelent munkáiban: a változó kicsiny módosításával a függvényérték változásának figyelése.

Van egy harmadik terület is, amelyen Fermat, ha nem is úttörő, de jelentős szerepet játszott. Már 20 évvel Cavalieri oszthatatlanjainak megjelenése előtt nemcsak az $y = x^n$ alakú görbék érintőit tudta megadni, de a görbe alatti területet is.

Fermat-val egy időben másoknál is megjelennek a végtelenül kicsiny mennyiségek. A reneszánsz ugyanis a mozgás vizsgálatában is új gondolatokat hozott. A Merton College eredményei után Tartaglia (*De subtilitate*, 1551, *Opus novum*, 1570) az ágyúlövedékek pályáját, Benedetti pedig a szabadesést vizsgálva jutott új, az arisztotelészi fizikával ellentétes

eredményekre. Az ő eredményeikre támaszkodva Kepler a bolygók mozgását vizsgálva egy olyan technikát alkalmazott, amit korábban a boroshordók térfogatának meghatározására dolgozott ki (*Stereometria doliorum vinorum*, 1615). A hordó térfogatát az alapkör sugara mentén olyan szeletekre bontotta, melyekkel azonos térfogatúak együtt egy hengerszeletet adtak, így az össztérfogatot már könnyűszerrel meg tudta határozni. Kepler szeretett volna olyan számítási eljárást találni, mellyel leegyszerűsíthette volna a rengeteg számolást, amit az apró területek összegzése jelentett. Ez a módszer – az integrálszámítás – hamarosan meg is született.

Kialakulásában fontos szerepet játszott Galilei egyik tanítványa, Bonaventura Cavalieri (*Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione*, azaz *Az új módon kifejtett oszthatatlan folytonos mennyiségek geometriája*, 1635), aki hasonló szeletek sokaságának tekintve az alakzatokat, a terület- és térfogatszámítás egy új elméletét dolgozta ki. Emlékszünk még Arkhimédésznek arra az ötletére, hogy a parabolaszélet területét párhuzamos húrjaira bontva vizsgálja? Cavalieri ezeket oszthatatlanoknak tekintette (hogy utaljunk ismét a Bradwardine-nél már említett kontinuumvitára), ugyanakkor úgy vélte, ezek a végtelenül kicsiny szeletek a teljes alakzatnál eggyel alacsonyabb dimenziójúak. A vonalak alkotják a síkidomot és síkidomok a testeket.

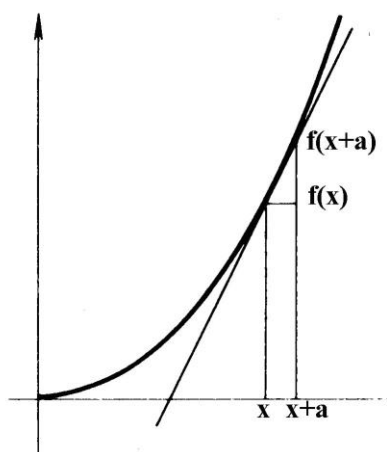


Cavalieri elgondolása

Így nyilvánvaló, hogy a területek (vagy térfogatok) aránya azonos lesz a szeletek összegzett hosszának (illetve területének) arányával: az ábrán $T_{ABCD} : T_{ABEF} = \Sigma y_1 : \Sigma y_2$.

Mielőtt továbblépnénk az integrál- és differenciálszámítás fejlődésének taglálására, említsük meg kiemelkedő szerepét a század negyedik nagy újítása, a valószínűségszámítás kidolgozásában. Pascallal folytatott levelezésében a szerencsejátékok olyan régóta ismert problémáira keresték a választ, mint pl. hogyan kell felosztani a nyereséget a játékosok között, ha a játék menet közben megszakad. Fermat és Pascal több olyan megoldási eljárást is kidolgoztak, melyek későbbi általánosításukkal a valószínűségszámítás alapjait szolgálták.

Pascalnál maradva, a szélsőérték vizsgálata izgalmas kérdés akkor is, amikor egy görbéhez húzott érintő meredekségét próbáljuk meghatározni. Az érintő a mozgás vizsgálatában azért érdekes, mert a mozgás pillanatnyi irányát mutatja. Ha az érintőhöz szelők segítségével közelítünk, az érintő ezek határhelyzetét jelenti, az „elpattanó egyenest”, amelynek már éppen csak egy közös pontja van a görbével (természetesen nem minden ilyen helyzetű egyenes lesz érintő). A görbület változásának pontjaiban (inflexiós pontok) az ilyen egyenes metszi a görbét. A görbület vizsgálatával azonban ezek az esetek szétválaszthatók.



Az érintő keresése

Az érintő keresésekor tehát a szelők határhelyzete a

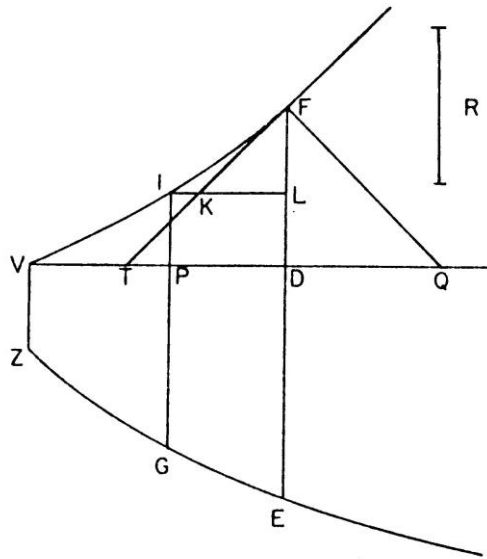
$$\lim \left(\frac{dy}{dx} \right) = \lim (f(x+a) - f(x)) / a$$

határérték meghatározását jelenti. Ez a differenciálhányados az $(x, f(x))$ pontban (lásd az ábrát).

A differenciálhányados keresésének inverz művelete: adott a differenciálhányados, és keressük azt a görbét, melynek az adott pontban épp ez az érintője. Nem triviális. Erre vonatkozik a Newton–Leibniz-tételként ismert összefüggés, melyet az analízis alaptételének tartanak. E tétel inkább csak a nagy mesterekre való tekintettel viseli e két kiváló tudós nevét. Az összefüggés már ismert volt Newton tanára, Isaac Barrow előtt is, aki 1699-ben megjelent *Lectiones geometricae* című munkájában közölte azt:

„Legyen ZGE tetszőleges görbe VD tengellyel, és legyenek e tengelyre merőleges ordináták a VZ ordinátától kezdve folyamatosan növekvőek; legyen továbbá VIF egy olyan görbe, hogy ha a VD-re állított merőleges EDF egyenes E és F pontban metszik a görbét, VD-t pedig D-ben, a DF és egy adott R által alkotott téglalap egyenlő a közrezárt VDEZ területtel, valamint legyen $DE:DF = R:DT$, és vegyük TF egyenest. Ekkor TF érinti a VIF görbét.”⁵⁸

⁵⁸ D. J. Struik: *A Source Book in Mathematics* (Cambridge, 1969).



Barrow ábrája

Hát, azt hiszem, aki ismeri az analízis alaptételét, nem erre számított. Bizony gondolkodni kell azon, valóban ekvivalensek-e. (A kedves olvasó akár le is ellenőrizheti, tud-e olyan értelmezést adni a fentieknek, melyből kijön a kérdéses tétel. Az világos, hogy van egy területet jellemző függvény, amelynek az érintőjéről mond valamit. De mit is?)

Még ha nem is tökéletesen a mai formájában, de már a kezünkben van az integrál- és differenciálszámítás összefüggése, csak éppen még egyik sem számítás. Ehhez az kell, hogy ne legyen szükség egyedi ötletekre, ha szembekerülünk egy konkrét feladattal. Legyen egy általános eljárás, mellyel bizonyos típusú feladatok megoldhatók, és el lehessen dönten, hogy egy feladat az adott típusba tartozik-e. Ezt az általános megközelítésmódot találta meg Newton és Leibniz egymástól függetlenül. Newton már 1665-ben használta, ám csupán heurisztikus eljárásaként, mivel logikai megalapozása még nem volt tiszta. Leibniz viszont publikálta saját technikáját 1684-ben (nem mintha ez sokkal világosabb lett volna). Mindketten infinitezimális (végtelenül kicsiny) mennyiségekkel számoltak, és ezek alkalmazása, ahogy azt George Berkeley a *The Analyst* című munkájában megvilágította, nem volt éppen mentes a logikai hézagoktól.

A XVIII. század matematikusai igyekeztek alkalmazni e technikákat, ügyesen bűvészkedtek, osztottak, szoroztak az infinitezimálisokkal. (Ami itt problémát jelent, az az, hogy mikor lehet számolni velük mint 0-nál nagyobbval, és mikor lehet elhagyni őket, illetve ennek speciális eseteként az osztás: ha valamit az egyik lépésben nullának tekintünk, hogyan tudunk vele osztani?) E téren a Bernoulli fivérek és L'Hospital márki eredményei mellett fontos megemlíteni Leonhard Euler munkásságát. Három könyvet írt az analízisről: egy bevezetőt (1748), egyet a differenciál- (1755) és egy négykötettest az integrálszámításról (1767–1770). Ez utóbbi tartalmazza a differenciálegyenletekre vonatkozó, s a természettudományok fejlődésére oly nagy hatású ismereteket is. Könyvei összefoglalták mindazt, amit akkoriban e tárgykörben tudni lehetett. Ő adta meg az n-edrendű differenciálegyenletek elméletének általános fogalmi kereteit is. Johann Bernoulli, Euler és Lagrange új analitikus módszereket dolgoztak ki fizikai problémák megoldására, így nemcsak a tiszta, de az alkalmazott matematika szempontjából is különösen jelentősek munkáik. A differenciál- és integrálkalkulus szigorú megalapozása azonban a határérték, a folytonosság és a valós szám fogalmának definiálásával konvergenciakritériumok

megadásával Augustin Louis Cauchy munkái (*Course d'analyse*, 1821) és Carl Weierstrass berlini előadásai révén majd a XIX. század vívmánya lesz.

D) A klasszikus mechanika kialakulása

Szegedi Péter

A klasszikus mechanika kialakulása több egymással párhuzamosan futó, egymással kölcsönhatásban lévő folyamattal együtt ment végbe. Ezek egyike a csillagászat fejlődése, amelyet a B) fejezet tárgyalt, és amelynek során a bolygópályák kutatásának eredményeként a Föld kikerült a Világegyetem középpontjából. Ebben a fejezetben e folyamatok közül érinteni fogjuk a tudományos módszerek meghonosodását, a mechanikai részismeretek halmozódását és ezek szintézisének lényegét. Kitérünk az új tudomány jellemzésére és hatásaira is.

1. A tudományos módszer

A középkori felfogás alapja a csillagászathoz hasonlóan a földi tudomány – így a fizika és azon belül a mechanika – esetében is az arisztotelészi világkép volt. A mechanikai mozgásokra vonatkozó állításaival kapcsolatban azonban különböző módosításokat javasoltak egyes – általában elszigetelten dolgozó – tudósok (akik többnyire egyházi személyek voltak). Emlékeztünk rá, hogy Arisztotelészt elsősorban az érdekelte, hogy *miért* mozognak a testek. Számára sem elméleti, sem gyakorlati haszna nem volt a mozgások (pl. egy kő leesése) pontos leírásának. Viszonylag természetesnek látszott, hogy két ló fele annyi idő alatt húz el egy testet adott távolságra, mint egy ló, vagy, hogy a nehezebb testek gyorsabban esnek le, ha felemeljük őket. Ezzel kísérletezni azonban nem látszott érdemesnek. És még ha érdemesnek is tartotta volna valaki ilyen megfigyeléseket végezni, például az időmérés nehézkessége és pontatlansága megakadályozta volna, hogy használható eredményekhez jusson.

Az eltelt évszázadok fejlődése – gondolunk itt elsősorban a kézművességre, építészetre és hasonló tevékenységekre (valamint ezeken belül a fejlődő munkamegosztásra) – azonban egyre több területen megkövetelte a mérést és annak növekvő pontosságát. A kézművességnek ez a fejlődése a mérési módszerek és eszközök javulása mellett további lehetőségeket is felkínált a tudomány számára. Egyrészt példaként állította tevékenysége bizonyos jellemzőit (rendszeresség, gondosság, pontosság, célszerűség stb.); másrészt rendelkezésre bocsátotta a felhalmozódott ismereteket (pl. a különböző anyagok tulajdonságairól); harmadrészt átadta a létrehozott eszközöket, illetve technológiájával lehetővé tette a meglévő eszközök tudományos célú átalakítását és újak előállítását; negyedrészről egyre inkább megteremtődött annak lehetősége és szükségessége, hogy a tudomány a gyakorlatban (termelésben, háborúban stb.) is felhasználható eredményeket produkáljon; ötödrészről e fejlődés (amely a földművelés eredményességét is javította) az életszínvonal emelkedésével, a városiasodással és más tényezők révén hozzájárult a tudomány (egészen konkrétan például a tudósok számának) mennyiségi növekedéséhez is.

Mindezekkel együtt szélesebb körűvé vált az oktatás, de még a nyomtatás feltalálása is fontos lépés volt a tudomány előrehaladásában. Létrejötték az első egyetemek és a tárgyalandó időszakban először Rómában, majd Angliában és Franciaországban már tudós társaságok (akadémiák) is. A tudomány tehát elindul az intézményesedés útján. Az informális kapcsolatok (levelezés, látogatások) is egyre általánosabbá válnak. Megváltozik a tudomány és a társadalom kapcsolata, ezen belül az embereknek – köztük maguknak a tudósoknak – a tudományról alkotott

képe is. Elterjedt annak a tudósnak az ideálja, aki nem csupán spekulál, filozofál, hanem pontos megfigyeléseket végez és mér is. Kidolgozásra kerültek közös módszerek, létrejön egy olyan – a többség által követésre méltónak tekintett – módszertan, amely azelőtt nem nagyon volt jellemző (ilyen közös, de az alábbiakban vázolttól eltérő módszertan legfeljebb bizonyos mértékig a geometriában és a csillagászatban jelent meg korábban).

A természettudományhoz szorosan kapcsolódva megjelentek olyan filozófiai koncepciók, amelyek nem közvetlenül a természetről alkottak képet, hanem az azzal foglalkozó tudományokról. Modern kifejezéssel élve, ismeretelméleti – vagy még inkább – tudományfilozófiai elméletekről van szó, utóbbiban azonban a „tudomány” az esetek döntő többségében természettudomány. Ezek az elméletek (esetleg rejtett) előfeltevésként többnyire tartalmazták a magáról a természetről alkotott elképzeléseket is.

a) Az empirikus, induktív módszer: Bacon és Galilei

A közös módszertan egyik összefoglalójaként először Francis Bacon angol filozófust kell megemlítenünk. Az általa kifejtett módszer az ún. induktív módszer, ami egyes tapasztalt tények, gyakori esetek alapján való általános következtetést jelent. A tapasztalatokra támaszkodás miatt empirikus módszernek is nevezik. Bacon *Novum Organuma*⁵⁹ szerint a jó tudós az ismeretek „termelése” során eszközöket használ:

II

„A puszta kéz és az önmagára hagyatkozó értelem egyaránt keveset ér: szerszámra és segédeszközre van szüksége az értelemnek éppúgy, mint a kéznek. És amint a kéz szerszámait kiváltja vagy irányítja a mozgást, éppúgy segítik vagy óvják az értelmet az elme szerszámait.”

Eszköztárának legfontosabb elemei pedig a gyakorlati tapasztalatszerzés (megfigyelés, kísérlet):

LXX

„A legjobb bizonyítás a tapasztalat, feltéve, ha kísérletekre támaszkodik. ...”

és a fokozatos indukció, vagyis egyre általánosabb tételek kikövetkeztetése.

XIX

„Két úton (és csak e két úton) kutatható és lelhető fel az igazság. Az egyik az érzékektől és az egyeditől a legáltalánosabb érvényű axiómákhoz rohan és sziklaszilárd igazságnak tekintve ezeket az elveket, belőlük vezeti le és fedezi fel a középső axiómákat. Ez a jelenleg járt út. A másik az érzékek és az egyedi tények segítségével folyamatosan, lépésről lépésre szűri le az axiómákat, hogy a legvégén jusson el a legáltalánosabb elvekig. Ez az igazi út, csak hogy nem próbálja ki senki.

⁵⁹ Francis Bacon: *Novum Organum* I. Aforizmak a természet magyarázatáról és az ember uralmáról (Művelt Nép, 1954).

XXII

Mindkét út az érzékekből és egyes tényekből indul ki, és a legtágabb általánosságokban ér célba. Hatalmas különbség van mégis közöttük: az egyik csak futólag érinti a tapasztalást és az egyes tényeket, a másik helyesebben, rendszeresen mélyed el bennük; az egyik azzal kezdi, hogy bizonyos elvont és haszontalan általánosságokat állapít meg; a másik lépésről lépésre jut el a természetben valóban leginkább közös elvekig.”

Emellett harcol a szubjektivizmus több formája ellen:

XXXVIII

„A *ködképek* és helytelen fogalmak régen megszállták az emberi értelmet, mélyre eresztették gyökerüket, és nemcsak az utat nehezítik meg az emberi elmének az igazsághoz, hanem ha már nyitva áll is az út, újból felütik fejüket és hátráltatják a munkát a tudományok megújítása közben; ezért figyelmeztetni kell az embereket, hogy a lehetőségekhez képest vértessék fel magukat ellenük.

XXXIX

Négyfajta *ködkép* tartja hatalmában az emberi elmét. Érthetőség kedvéért a következő nevekké ruháztuk fel őket: először a *törzs ködképei*; másodsor a *barlang ködképei*; harmadszor a *piac ködképei*; negyedszer a *színpad ködképei*.

XL

A *ködképek* végleges szétosztásának leghatékonyabb eszközei természetesen az igazi *indukció* útján alkotott fogalmak és axiómák, de már az is nagy haszonnal jár, ha a *ködképekre* felhívjuk a figyelmet. ...

XLI

A *törzs ködképei* hozzátartoznak az emberi természethez, az emberek törzséhez, az emberi nemhez. Mert helytelen az állítás, hogy az emberi érzékek a dolgok mértékei; éppen ellenkezőleg: mind az érzékek, mind az elme képzei az ember hasonlatosságára, nem a világegyetem hasonlatosságára jönnek létre. Az emberi értelem pedig görbe tükre a tárgyak sugarainak: saját természetét a dolgok természetével összekeverve eltorzítja és meghamisítja a dolgokat.

XLII

A *barlang ködképei* az egyénnek, az embernek *ködképei*. Az emberi természet általános tévedésein kívül ugyanis mindenkinek megvan a maga egyéni ürege, vagy barlangja, mely megtöri és beszennyezi a természet fényét aszerint, hogy kinek milyen az egyéni természete, milyen neveltetésben részesült, kikkel érintkezik, mit olvas, kiket tisztel és csodál, milyen tekintélyeket ismer el, milyen éltető módon hatnak rá a benyomások, aszerint, hogy gondterhelt és elfogult

lélekkel, vagy háborítatlan nyugodt szellemmel fogadja őket stb.; világos tehát, hogy az emberi lélek hajlandóságai egyénenként igen változók, zavaró behatásoktól soha nem mentesek és úgyszólván a véletlen uralkodik rajtuk. Helyesen mondja tehát Hérakleitosz, hogy az emberek a maguk kis világában keresik a tudást és nem a nagy, közös világban.

XLIII

Bizonyos *ködképeket* szinte az emberi nem kapcsolata és társas élete hoz létre: ezeket az emberek érintkezése és együttélése miatt a *piac ködképeinek* nevezzük. Az embereket ugyanis a beszéd gyűjti társaságba, a szavak viszont az átlagos felfogóképesség szerint alakulnak ki. Ezért a helytelenül és ügyetlenül kialakult szavak szembeötlő módon béklyóba verik az értelmet. Ezen a bajon mitsem enyhítenek a tudósok védekezésésképpen alkotott meghatározásai és magyarázatai, sőt épp a szavak tesznek erőszakot az értelmén, a szavak zavarnak össze mindent és bonyolítják az embereket megszámlálhatatlan hiábavaló vitába és szószaporításba.

XLIV

Végül bizonyos *ködképek* különféle filozófiai dogmák vagy torz bizonyítási módszerek hibájából gyökeresednek meg az emberi gondolkodásban. Ezeket a *színház ködképeinek* nevezzük, mert véleményünk szerint, ahány filozófiai irány felmerült vagy polgárjogot nyert, ugyanannyi színdarab készült el és került bemutatásra: megannyi képzeletbeli és színpadra illő világ. ...”

Bacon elemzi ezeket a ködképeket (idolumokat), példákat mond rájuk.

XLV

„Az emberi értelem jellegzetessége, hogy nagyobb rendet és egyenletességet tételez föl a dolgokban, mint amilyent valóban talál, és bár a természetben sok az egyedi és egyenetlen, mégis nem létező párhuzamokat, megfeleléseket és vonatkozásokat vél felfedezni mindenütt. Ilyen az az előítélet, mely névleg elismeri a csavar- és hullámvonalakat, mégis azt állítja, hogy *az összes égitestek tökéletes körpályán mozognak. ...*”

Ez példa volt a törzs ködképeire, a színházéra pedig kéznél van Arisztotelész, a babona, a teológia. Általában e szubjektivitások elleni fellépése bizonyos párhuzamba állítható Giordano Bruno (1548–1600) nézeteinek konzekvenciáival.

A tudós munkáját Bacon a hangyával és a pókkal szemben a méhhez hasonlítja.

XCV

„Akik elmélyedtek a tudományban, vagy empirikusok voltak vagy dogmatikusok. Az empirikusok egyre csak gyűjtenek, mint a hangya, és felélik, amit gyűjtöttek; a racionalisták önmagukból szőnek fonalat, akár a pók. Pedig a méh választja

kettejük között a helyes utat, mert a kert és a mező virágaiból hordja össze anyagát, de saját képességeinek megfelelően alakítja át és rendezi el. Ehhez hasonlít a filozófus műhelye is, ha jól van berendezve: nem csupán és nem is elsősorban az elme erejére támaszkodik, de a természettudomány és a mechanikai kísérletek anyagát sem raktározza el teljes egészében emlékezetébe, hanem értelmével feldolgozza és rendszerezi. A kísérleti és értelmi adottságok (eddig hiányzó) szorosabb és szilárdabb egységére kell tehát reményeinket alapítanunk.”

Bacon egyik honfitársa és követője az empirista-induktivista módszertanban, a filozófus Thomas Hobbes már igen közel kerül a mechanikához. Szerinte a világ testek rendszere, és a filozófia e testekkel foglalkozik, mégpedig a természetes és mesterséges testekkel, utóbbin az államot és a társadalmat értve. A lélek vagy szellem szintén csak mint test létezik. A testek mozognak, vonzzák és taszítják egymást, ez pedig az oksági láncolaton keresztül követendő. A tudomány mintaképe a geometria.

A baconi eszmék tudományban való tényleges létezésének – Bacon vagy akár Hobbes ugyanis nem nagyon művelte ténylegesen a természettudományt – kiemelkedő példája Galileo Galilei olasz fizikus munkássága. Őt tartják a kísérleti fizika megalapítójának, ami egy kicsit nyilván túlzás, hiszen a kísérletezést nem Bacon vagy Galilei találta ki, elszigetelt kísérleteket már a görögök is végeztek, erre a korra pedig ez szinte benne volt a levegőben (ráadásul Galilei a neki tulajdonított kísérletek egy részét – pl. a testek ejtegetését a pisai ferde toronyból – nem is végezte el). Tagadhatatlan azonban, hogy az olasz fizikus volt az, aki – bár bizonyos vonatkozásokban még arisztotelianus nézeteket vallott – több területen nagyon konkrétan megmutatta, hogy a tudományban megfigyeléseket kell folytatni, az azokon alapuló fogalomalkotásnak, a felállított hipotéziseknek az ellenőrzésére pedig megfelelő kísérleteket kell végezni. A kísérletek révén azután törvényeket lehet felállítani (l. baconi indukció). Ezek megfogalmazásához Galilei szerint a matematikát kell segítségül hívni.

Galilei óriási tehetséget mutatott fel a rendelkezésére álló lehetőségek azonnali kihasználásában. Mint említettük, a csillagászat fejlődéséhez például azzal járult hozzá, hogy – hallván a távcső lehetőségéről – feltalálta a később róla elnevezett távcsőtípust, és amellet, hogy bemutatta az úri közönségnek földi használhatóságát, majd sorozatban gyártotta a távcsöveket, azonnal az ég felé is fordította, rövid időn belül felfedezve a Nap foltjait, a Jupiter holdjait, a Tejút csillagait, a Hold hegyeit és a Vénusz fázisait, amely felfedezéseivel nagymértékben hozzájárult a kopernikuszi heliocentrikus rendszer realitásának bizonyításához⁶⁰ és a fentebb vázolt világmépi váltáshoz, az égi és a földi jelenségek egymáshoz közelítéséhez. Ami a szóban forgó mechanikát illeti, az olasz tudós egyebek mellett felismerte, hogy Arisztotelész nézeteivel ellentétben a leeső testek egyformán – tekintet nélkül a súlyukra – mozognak, megállapította a szabadesés törvényeit stb. ⁶¹ Galilei nézeteinek – és ezzel módszereinek – propagandistája is volt, hiszen tevékenységének egy része a nyilvánosság előtt folyt, pere is felhívta rá a figyelmet, és végül tanítványai – pl. Evangelista Torricelli (1608–1647), a higanyos barométer feltalálója és a légnomás felfedezője – ugyanezen az módszertani alapon próbálták meg munkáját továbbvinni.

⁶⁰ A kopernikuszi rendszer melletti érveiből részletek olvashatók: Galilei: *Párbeszéd a két legnagyobb világmépi rendszerről, a ptolemaiosziról és a kopernikusziról* (Kriterion, Bukarest, 1983).

⁶¹ Mechanikai eredményeinek összegzése megtalálható: Galileo Galilei: *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből* (Európa, Budapest, 1986).

b) A deduktív módszer: Descartes

Bacontól részben eltérően, egy – a tudományban alkalmazható – másik módszerre teszi a hangsúlyt René Descartes francia filozófus, matematikus és fizikus. Ő az ész – a ráció – mindenhatóságából indul ki.

„Egyedül az értelem képes az igazság felfogására, de kell, hogy segítségére legyen a képzelet, az érzékek és az emlékezet, nehogy véletlenül elhagyjunk valamit, ami képességünkben rejlik. ...”⁶²

Az általa követett módszertani elvekről a következőképpen számol be:

„Az első az volt, hogy soha semmit ne fogadjak el igaznak, amit evidens módon nem ismertem meg annak: azaz, hogy ... semmivel többet ne foglaljak bele ítéleteimbe, mint ami oly világosan és határozottan áll elmém előtt, hogy nincs okom kétségbe vonni.

A másik az volt, hogy a vizsgálódásaimban előforduló problémát annyi részre osszam, ahányra csak lehet és a legjobb megoldás szempontjából szükség van.

A harmadik az, hogy olyan rendet kövessek gondolkodásomban, hogy a legegyszerűbb és a legkönnyebben megismerhető tárgyakkal kezdem, s csak lassan, fokozatosan emelkedem fel az összetettebbek ismeretéhez ...

Az utolsó pedig az, hogy mindenütt teljes felsorolásokra és általános áttekintésre törekedjem, s így biztos legyek abban, hogy semmit ki nem hagytam.”

Descartes tehát – a kötelező módszeres kételkedést feloldva – az elme által evidensnek (tisztának és megkülönböztetettnek vagy határozottnak) tartott igazságokra kívánja alapozni a tudományt. Ezekből kell levezetni – dedukálni – a konkrétabb tételeket. A racionalista irányzat alapvető módszere így a dedukció. Ez az eljárás akkor is és ma is legkönnyebben nyilván a matematikával párosítható. Descartes – Galileihez hasonlóan – maga is sokat tett azért, hogy a matematika módszerei használhatók legyenek a fizikában (gondoljunk csak a Descartes-féle koordináta-rendszerre és az analitikus geometriára).

2. A mechanika programjának kitűzése

Descartes mint filozófus a világ összes jelenségét kétféle létezőre vezette vissza: az anyagra (res extensa) és a szellemre (res cogitans). E dualista felfogásban az előbbi alaptulajdonsága a kiterjedés (a testeknek ez a tulajdonsága jelentkezik tisztán és világosan, a többi – szín, hőmérséklet stb. – lehet érzéki csalódás is), az utóbbié a gondolkodás (emlékezzünk a híres „Cogito, ergo sum”-ra!). Mint fizikus, azt a célt tűzte ki, hogy a fizika számára fontos világot – tehát az anyagot – a testek alaptulajdonsága – tehát a kiterjedése, másképpen alakja vagy formája – és mozgása segítségével kell leírni. Az ún. kartézianus fizikafelfogásra jellemző ezen kívül még a közelhatás, vagyis az az elképzelés, hogy a testek csak közvetlen érintkezéssel képesek hatni egymásra, amire annál inkább megvan a lehetőség, mert Descartes szerint a világ teljesen ki van

⁶² Descartes: *Válogatott filozófiai művek* (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1961).

töltve anyaggal, és például a bolygók mozgását ennek az anyagnak az örvénylései okozzák. A közvetlen érintkezés révén a testek mozgása áttevődik más testekre, maga a mozgás megmarad. (Hogy ez a ma már bevett fizikai mennyiségek – impulzus, impulzusmomentum, energia – szempontjából mit jelent, az akkor még nem volt világos.)

Descartes tehát megadja azt a programot, amelyet szerinte a fizikának, illetve egyáltalán a tudománynak be kell teljesítenie. Ő maga e programot nem tudja megvalósítani, például a testek ütközéseire vonatkozó megfontolásai csak részben voltak eredményesek. Ezen a területen, továbbá az inga- és körmozgás tanulmányozásában a sokkal kevesebbet filozofáló Huygens jutott túl Galilei és Descartes tézisein, megalapozva a dinamika tudományát.

Mielőtt azonban a konkrétumokra térnénk, megemlíthetjük, hogy a filozófia területén Descartes legközvetlenebb követője talán Benedictus de Spinoza, a Portugáliából Hollandiába bevándorolt zsidó család optikus-filozófus fia volt. Eredeti neve Baruch de Espinoza, de miután a hitközség filozófiai nézetei miatt kitagadta, írásait a fenti néven adta ki. Spinoza változatában a kiterjedés és a gondolkodás egyazon szubsztancia egyenrangú attribútumai, leglényegesebb tulajdonságai. Ez az egyetlen szubsztancia (a nem személy jellegű) Isten és egyben a (teremtő) természet. Külső mozgatóra tehát nincs szükség, az anyag önmaga oka (causa sui). A világban az okság, a szükségszerűség uralkodik, a folyamatok, történések teljesen determináltak, változhatatlan törvények szerint mennek végbe. A véletlen csupán ismereteink hiányosságából fakad. A mechanikai determinizmus első megfogalmazásai Spinozánál találhatók.

3. A részletek kidolgozása

A mechanika tudományába sorolható problémák mindig foglalkoztatták a gondolkodókat, és különböző részeredményeket is elértek az ókor óta. Lehetetlen lenne akár csak felsorolni is mindazokat, akik bizonyíthatóan töprengtek ilyen kérdéseken. Ezen tudósok jó része esetleg csak egy-egy igen piciny lépést tett meg a fizikában, amelyet a történetírások nagy része nem is tart számon. Sokszor az elhanyagolás jogosnak is tűnik, mert az illető munkássága nem került be a tudomány vérkeringésébe, hiszen sokan másoktól teljesen elszigetelten dolgoztak, mások, ha tudták volna, sem akarták nyilvánosságra hozni eredményeiket.

A reneszánsznál kezdve például megemlíthetünk egy igen ismert személyiséget, aki rengeteget foglalkozott mechanikai problémákkal is, de ide vonatkozó eredményei a kortársak előtt lényegében ismeretlenek maradtak. Leonardo da Vinciről (1452–1519) van szó, aki a képző- és építőművészet mellett matematikával, mechanikával, fizikával (optikával, hidrodinamikával, hangtannal), csillagászzal, geológiával, botanikával, anatómiával és fiziológiával is foglalkozott, ha a mai nomenklatúrával kívánjuk megnevezni tevékenységi köreit. Ő a mechanikán belül már a XV. században vizsgálta a tehetetlenség, a hatás ellenhatás, a szabadesés, a vízszintes hajítás témaköreit, és az általa megismert törvények alapján gépeket – köztük repülő szerkezeteket – szerkesztett, erőátviteli problémákat oldott meg (kardántengely és lánc segítségével).

Őt – és még sok más gondolkodót – nem véletlenül foglalkoztatta a szabadesés és a hajítás problémája, hiszen ennek a kérdésnek rendkívüli jelentősége volt az ágyúzás szempontjából (háborúban pedig ebben a korban sem volt hiány). Niccolo Tartaglia (1500–1557) például a hajítást (az ágyúgolyó útját) három szakaszból állóként írta le: az elsőben a test egy ferde egyenes mentén emelkedik, a másodikban egy körívet ír le, végül pedig függőlegesen leesik. Már ebből a modellből is arra következtetett a XVI. század elején, hogy a 45°-os ferde hajítás viszi a legtávolabb.

Giovanni Battista Benedetti (1530–1590) már a XVI. század közepén azt állította, hogy az azonos sűrűségű, de különböző súlyú testek vákuumban – ahol nincs ellenállás – azonos

sebességgel esnek, megadta a centrális erő fogalmát és megfogalmazott egy tehetetlenségi elvet is. A hidrosztatikában leírta a közlekedőedényeket és a hidrosztatikai paradoxont.

Talán feltűnő, hogy az imént felsorolt gondolkodók, de a már korábban említett Bruno és Galilei, a kicsit később élő Torricelli, Francesco Maria Grimaldi (1618–1663) és Borelli mind olaszok voltak. Még azt is megemlíthetjük, hogy lényegében Kopernikusz is Itáliában tanult és élt, ebben a légkörben alakította ki tudományos életművét. Ennek magyarázataként arra kell utalnunk, hogy ahogy Itália általános társadalmi fejlődése kiemelkedővé tette kereskedelmét, kézművesiparát, irodalmát és képzőművészetét, ugyanúgy – e társadalmi állapot részeként – kiemelkedővé tette tudományos (és ezen belül egyetemi és akadémiai) életét is.

Természetesen a tudomány azért nem maradt olasz privilégium. Így például a polgári fejlődésben élenjáró Hollandia is biztosította a lehetőséget a tudományos kutatás számára, elég, ha a legismertebbekre, Snelliusra (1591–1626) – eredeti nevén Willebrod van Snell – és Huygensre hivatkozunk, de megemlíthetjük Descartes-ot is, aki csaknem húsz évig Hollandiában dolgozott. Először azonban Simon Stevinről (1548–1620) – latinosan Stevinusról – kell megemlékeznünk, aki a matematika (tizedes törtek) mellett elsősorban a statikában ért el jelentős eredményeket. Ő vezette be az erőháromszöget (erőparalelogrammát), és 1586-ban megjelent könyvének címlapján például a ferde lejtőn megvalósuló egyensúly feltételeiről látható ábra.

Visszatérve az olaszokhoz, aki nem csupán módszertani példamutatásával, hanem gyakorlatilag is legtöbbet tett a mechanika fejlődéséért a XVI. század végén, a XVII. század elején, az Galilei volt. Az igen sokoldalú tudós – orvosnak készült, de inkább matematikával, geometriával, mechanikával, csillagászzal, optikával foglalkozott – számos új technikai, kísérleti és elméleti eredményt ért el. Ezek az esetek egy jó részében nemcsak egyszerűen újak voltak, de ellent is mondtak kora felfogásának, holott korábban kollégái többségéhez hasonlóan ő is arisztotelianus nézeteket vallott és ezek egy része élete végéig elkísérte. Amiben azonban alapos változást hozott, az az volt, hogy Galileit többé már nem a *miért* érdekelte, hanem sokkal inkább a *hogyan*.

„Azt hiszem, nem ez a megfelelő időpont, hogy belebonyolódjunk annak vizsgálatába, mi okozza a természetes mozgások gyorsulását; egyébként az egyes filozófusok véleménye eltérő: vannak, akik arra vezetnek vissza, hogy egyre közeledik a test a középponthoz, mások arra, hogy a közegnek egyre kevesebb része marad, amit szét kell választani; ismét mások a közeg bizonyos feszültségének tulajdonítják, szerintük ugyanis amikor a közeg a mozgó tárgy hátsó része mögött újra egyesül, állandóan nyomást gyakorol rá; ezeket a fantazmagóriákat meg a többit megvizsgálhatnánk ugyan, de semmi különösebb hasznot nem remélhetünk tőlük. Szerzőnk egyelőre megelégszik annyival, hogy nyomon kövesse és kiderítse az olyan gyorsuló mozgás néhány tulajdonságát – függetlenül attól, mi a gyorsulás közvetlen oka –, amelynél a nyugalomból induló test sebessége egyre nő, és pedig egyszerűen az idővel arányosan, ami annyit jelent, hogy egyenlő időintervallumok alatt egyenlő sebességnövekmények képződnek; és ha végül kiderül, hogy a bebizonyított állítások érvényesek a szabadon eső, gyorsuló súlyos testek mozgására, akkor elmondhatjuk majd, hogy önkényes definíciónk érvényes a

súlyos testek mozgására, és igaz, hogy sebességük az idő múlásával, illetve a mozgás időtartamával arányosan nő.”⁶³

Ez a kérdés Arisztotelész szemében alacsonyabb rendűnek tűnt, és ma is érvelhetnénk a *miért* kérdés fontossága mellett, az adott korban, a tudomány adott fejlődési stádiumában azonban – mint azt maga a történet bizonyítja – a kinematika feltétlenül szükséges előrehaladása érdekében a *hogyan* kérdés felvetése elengedhetetlen volt. Ennek felvállalása Galilei elvitathatatlan érdeme, még ha munkásságának egésze, annak értékelése ma is tudománytörténeti viták tárgya.

Ebből a szempontból legfontosabb munkája a szabadesés vizsgálata, ami végül a szabadesés törvényének felfedezéséhez vezetett. E jelenségkör kísérleti vizsgálatához született meg az a kiváló ötlete, hogy a folyamatot egy lejtőn lelassítva vizsgálja meg, ami lehetővé teszi a mérést még az adott – mai szemmel nézve igen csak kezdetleges – eszközökkel is. A kísérletet a *Matematikai érvelések és bizonyítások...*-ban következőképpen írja le:

„Kerestünk egy körülbelül tizenkét rőf hosszú, fél rőf széles, háromujjni vastag lécet, illetve deszkát, hosszában (az éle mentén) rendkívül egyenes, ujjnyi széles csatornát vájtunk, gondosan megtisztítottuk és megcsiszoltuk, majd a lehető legfinomabb, tökéletesen sima pergament enyveztünk bele; a csatornában pedig egy tökéletesen gömb alakú és sima bronzgolyót gurítottunk le. A léc egyik végét rögzítettük, a másikat pedig tetszésünk szerint egy- vagy kétrőfnyre a vízszintes fölé emeltük, és, mint említettem, hagytuk, hogy a golyó végigguruljon a csatornában; gondosan megmértük a teljes mozgáshoz szükséges időt (mindjárt megmondom, hogyan); a kísérletet számtalanszor megismételve meggyőződünk róla, hogy a futási idők soha még a pulzusütés tizedrészével sem térnek el egymástól. Miután a kísérletet sokszor elvégeztük, és az eredmény mindig ugyanaz volt, úgy intéztük, hogy a golyó csupán a csatorna negyed részén gurulhasson le; ismét megmértük a mozgáshoz szükséges időt, és megállapítottuk, hogy a lehető legpontosabban fele az előzőnek. A kísérleteket különböző részutakkal is elvégeztük, a teljes út megtételéhez szükséges időt előbb a fél, majd a kétharmad és a háromnegyed úthoz szükséges idővel hasonlítottuk össze, valamint más osztásokkal is; a méréseket legalább százszor megismételtük, és mindig az volt az eredmény, hogy a megtett utak úgy aránylanak egymáshoz, mint idők négyzetei, és ez igaz, akárhogy rögzítjük is a sík, illetve a csatorna (ahol a golyó legurul) vízszintessel bezárt szögét; sőt azt is alkalmunk volt megfigyelni, hogy különböző hajlásszögek esetén a mozgáshoz szükséges idők pontosan úgy aránylanak egymáshoz, mint azt a Szerző egy későbbi tételében állítja és bizonyítja. Az időt pedig a következő módszerrel mértük: felakasztottunk egy nagy, vízzel teli dézsát, amelyből a fenekébe illesztett csövecskén keresztül vékony sugárban csordogált a víz; a kicsorgó vizet poharakban fogtuk fel mindaddig, amíg a vizsgált mozgás (a teljes csatorna vagy annak egy része mentén) tartott; az így összegyűjtött vizeket időről időre megmértük egy rendkívül pontos mérlegen, súlyaik különbségei és arányai megadták az időkülönbségeket és -arányokat, és pedig, mint említettem, olyan pontosan, hogy sok sok mérés eredménye között nem volt lényeges eltérés.”

⁶³ Lásd 132. lj. 183. oldal.

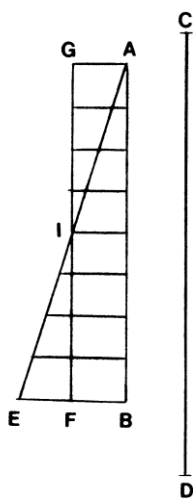
Nem teljesen bizonyos, hogy a kísérletet valóban így végezte el (a tankönyvszerű leírás kb. 45 évvel a tényleges felfedezés után született), annak többféle modern rekonstrukciója is létezik, és például könnyen lehet, hogy az időméréshez Galilei a pulzusát, vagy egy dal ritmusát használta fel, csak ezt nem akarta beleírni könyvébe. Mellesleg éppen ő volt az, aki felfedezte, hogy az inga lengésideje a kitéréstől függetlenül állandó, és később ezt a tulajdonságot lehetett felhasználni időmérésre.

Tulajdonképpen feljegyzéseiből az sem derül ki százszázalékosan, hogy a lejtő-kísérlet ténylegesen elvégezte, de az biztos – ezt támasztják alá a modern rekonstrukciók –, hogy a kísérlet elvégezhető és egyszerű eszközökkel is viszonylag pontos eredményt ad.

A szabadesés törvénye kísérlet nélkül is levezethető, ha feltételezzük, hogy a legegyszerűbb – egyenletesen – gyorsuló mozgásról van szó. Ez a levezetés található meg Galilei könyvében a kísérleti leírás előtt:

„I. tétel, I. propozíció

A nyugalomból induló, egyenletesen gyorsuló test tetszőleges utat ugyanannyi idő alatt tesz meg, mintha olyan egyenletes sebességgel mozogna ugyanezen úton, melynek értéke fele az említett egyenletesen gyorsuló mozgásban szerzett végső és legnagyobb sebességértéknek.

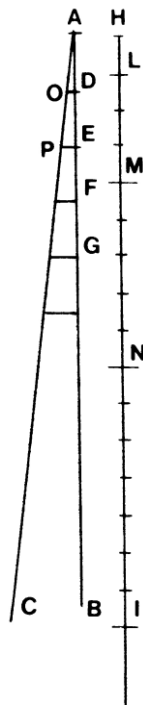


Jelölje az AB szakasz azt az időt, amely alatt egy test CD utat tesz meg úgy, hogy C-ből, nyugalmi helyzetből indult és egyenletesen gyorsul; jelölje az AB-re merőleges EB szakasz az AB időintervallum során szerzett végső, legnagyobb sebességet; kössük össze az A és E pontokat; osszuk fel AB-t ekvidisztáns pontokkal, amelyeken keresztül párhuzamosokat húzunk a BE szakasszal; az így kapott szakaszok a sebesség növekvő értékeit jelképezik, az A pillanattól kezdve. Legyen F az EB szakasz felezőpontja, húzzuk meg az AB-vel párhuzamos FG szakaszt és az FB-vel párhuzamos GA szakaszt az AGFB téglalaphoz jutottunk, amelynek területe egyenlő az AEB háromszögével, hiszen a GF oldal az AE oldalt az I pontban felezi, ezért ha az AEB háromszögben a párhuzamosokat meghosszabbítjuk a GI szakaszig, azt kapjuk, hogy a négyszög által tartalmazott párhuzamosok összessége egyenlő az AEB háromszög által tartalmazottak összességével, hiszen az IEF háromszögben lévő

szakaszok rendre megegyeznek a GIA háromszög szakaszaival, az AIFB trapézban lévő szakaszok pedig közösek. Az AB időintervallum minden pillanatához egy és csakis egy pont tartozik az AB szakaszon, és az egyes pontokból húzott, az AEB háromszögtartományon belül haladó párhuzamosok a növekvő sebesség növekvő értékeit jelölik, a téglalapon belül haladó szakaszok pedig nem növekvő, hanem állandó sebességértékeket jelentenek; nyilvánvaló tehát, hogy a mozgó test sebességének momentuma is jól jellemezhető általuk: gyorsuló mozgás esetén az AEB háromszög növekvő párhuzamos szakaszaival, az egyenletes mozgásnál pedig a GB téglalap párhuzamos szakaszaival. Amennyivel kevesebb ugyanis a momentum a gyorsuló mozgás első felében (ezt a hiányt szemléletesen az AGI háromszög párhuzamos szakaszaival azonosíthatjuk), pótolják az IEF háromszög párhuzamos szakaszai által jelképezett momentumok. Ebből azonban már nyilvánvaló, hogy ha adott két test, amelyek közül az egyik nyugalmi állapotból indulva egyenletes gyorsulással, a másik pedig egyenletesen mozog, egyenlő idők alatt egyenlő utakat tesznek meg, ha a második test sebessége fele a gyorsuló mozgást végző test legnagyobb sebességének, és ezt akartuk bizonyítani.

II. tétel, II. proposíció

Nyugalomból induló, egyenletesen gyorsuló eső test által tetszőleges idők alatt befutott utak úgy aránylanak egymáshoz, mint az időtartamok arányának négyzete, azaz mint az időintervallumok négyzeteinek hányadosa.



Jelölje az idő múlását az A pillanattól kezdve az AB félegyenes, amelyen jelöljük ki két időintervallumot, AD-t és AE-t. Jelölje HI azt az egyenest, amely mentén a H-ből, nyugalmi állapotból indulva egyenletes gyorsulással szabadon esik a test. Ha az AD időtartam alatt HL, az AE idő alatt pedig HM a test által megtett út, akkor MH úgy

aránylik az LH úthoz, mint AE és AD hányadosának négyzete; más szavakkal: HM úgy aránylik a HL-hez, mint AE négyzete AD négyzetéhez. Húzzuk meg az AB félegyenessel tetszőleges hegyesszöget bezáró AC félegyenest, a D és E pontokon át pedig húzzunk két párhuzamos szakaszt, DO-t és EP-t; a két szakasz rendre az AD, AE időintervallumokban elért legnagyobb sebességet jelképezi. Az előző tétel szerint a megtett út szempontjából mindegy, hogy a test nyugalomból indul, és egyenletesen gyorsulva mozog, vagy pedig ugyanazon időintervallum alatt egyenletes mozgást végez olyan sebességgel, amely a gyorsulás során elért legnagyobb sebesség fele; a befutott utak egyformák, ami annyit jelent, hogy a HM, HL távolság egyenlő azzal az úttal, amelyet a test AE, AD idő alatt futott volna be egyenletes sebességgel, ha ezen sebességek nagysága rendre a fele az EP, DO sebességeknek. Elég tehát megmutatni, hogy a HM, HL távolságok úgy aránylanak egymáshoz, mint az AE, AD időintervallumok négyzetei: ha így van, akkor a tétel állítása igaz. Az első könyv negyedik tételében viszont megmutattuk, hogy két test által egyenletes mozgással megtett utak úgy aránylanak egymáshoz, mint a sebességek hányadosának és a mozgáshoz szükséges idők hányadosának szorzata. Ebben az esetben azonban a sebességek aránya megegyezik az időintervallumok arányával (hiszen AE úgy aránylik az AD-hez, mint EP fele a DO feléhez, vagy mint EP a DO-hoz). Világos tehát, hogy a megtett utak aránya a mozgáshoz szükséges idők arányának négyzete. Quod erat demonstrandum.

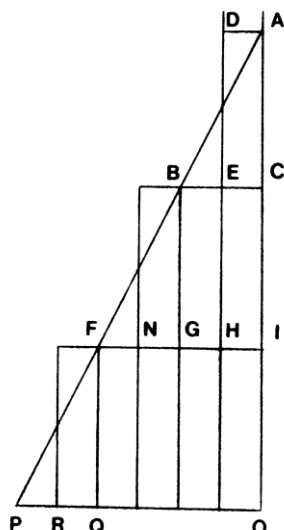
A fentiek egyenes következménye, hogy a befutott utak úgy aránylanak egymáshoz, mint a legnagyobb sebességek négyzetei, azaz mint az EP szakasz négyzete a DO szakasz négyzetéhez, EP és DO aránya ugyanis megegyezik AE és AD arányával.

I. korollárium

Jelöljön AD, DE, EF, FG a mozgás kezdetétől számított, csatlakozó, egymással egyenlő időintervallumokat, amelyek alatt a test rendre a HL, LM, MN, NI utakat futja be; az előző tétel miatt nyilvánvaló, hogy ezek az utak úgy aránylanak egymáshoz, mint az eggyel kezdődő páratlan számok, azaz egy, három, öt, hét; ez felel meg ugyanis az olyan szakaszszorozat négyzetei különbségének, ahol a sorozat növekvő, és bármely két szomszédos szakasz különbsége egyenlő a legrövidebbel, a sorozat első tagjával; más szóval az utak úgy aránylanak egymáshoz, mint az eggyel kezdődő természetes számok négyzeteinek különbségei. Amikor tehát a sebességfokok a természetes számok szerint növekednek egyenlő idők alatt, az ugyanezen idők alatt megtett utak növekedései úgy aránylanak egymáshoz, mint az eggyel kezdődő páratlan számok.

SAGREDO: Engedje meg, hogy rövid időre félbeszakítsam a felolvasást: eszembe jutott valami és szeretném elmondani; egy kis rajzot készítenék, hogy mondanivalóm világosabb legyen. Az AI szakasszal jelölöm az idő múlását az első A pillanattól kezdve, majd A-ból tetszőleges szög alatt meghúzom az AF szakaszt, összekötöm az I és F végpontokat; megkeresem az AI felezőpontját, amelyet C-vel jelölök, és felrajzolom az IF-fel párhuzamos CB-t; ekkor, ha a test az A időpillanatban nyugalomban volt, az ABC háromszögbe húzható, BC-vel párhuzamos szakaszok jelképezik az egyre növekvő sebességet, az elért legnagyobb sebesség pedig éppen CB (a sebesség ugyanis az idő múlásával egyenes arányban

növekszik). Az eddigiek alapján elfogadom, hogy a szabadon eső test által, gyorsuló mozgással befutott út egyenlő azzal az úttal, amelyet akkor tenne meg, ha ugyancsak *AC* ideig, egyenletesen mozogna, a *BC* sebesség felével, tehát *EC*-vel. Menjünk tovább: tegyük fel, hogy a *C* pillanatban a mozgó test sebessége *BC*; nyilvánvaló, hogy ha további gyorsulás nélkül ugyanezzel a *BC* sebességgel folytatná mozgását, a következő, *CI* időintervallum alatt kétszer akkora utat tenne meg, mint amekkorát az ezzel egyenlő *AC* idő alatt, *EC* sebességgel, hiszen az utóbbi fele a *BC*-nek; a szabadon eső test azonban gyorsul, sebessége egyenlő időközök alatt egyforma mértékben nő, tehát a *CB* sebességhez a következő, *CI* időintervallum alatt hozzáadódnak az *ABC* háromszöggel egybevágó *BFG* háromszögbe húzható párhuzamos szakaszok által ábrázolt sebességek; adjuk hozzá a *GI* sebességhez a gyorsulás második szakaszán szerzett és a *BFG* háromszög párhuzamosai által meghatározott sebességfokok közül a legnagyobbak, *FG*-nek a felét; az *IN* sebességhez jutunk, amely a *CI* idő alatt azonos út megtételéhez szükséges egyenletes sebesség; *IN* azonban az *EC* sebesség háromszorosa, világos tehát, hogy a második *CI* időintervallumban háromszor akkora utat tett meg a test, mint az első, *CA* idő alatt. Gondolatban kapcsoljunk *AI*-hez egy újabb, *IO* időtartamot, a háromszöget pedig nagyítsuk meg *APO*-ig; világos, hogy ha a test az *IO* időintervallumban az *AI*-ben végzett gyorsuló mozgás során elért sebességgel, *IF*-fel (amely *EC* négyszerese) folytatná útját, akkor az *IO* idő alatt megtett távolság az első, ugyanakkora *AC* idő alatt megtett távolság négyszerese lenne; az egyenletes gyorsulás miatt azonban a sebesség az *ABC* háromszöghöz hasonló *FPQ* háromszög által meghatározott módon nő: ha most a gyorsulás hatását ismét egy állandó sebességgel helyettesítenénk, egy, az *EC*-vel azonos növekményt kellene hozzáadnunk; adjuk *IF*-hez az *EC*-vel egyenlő *QR*-t: azt kapjuk, hogy az *IO* időtartamhoz tartozó, egyenletes sebesség az *AC* időintervallumhoz tartozó sebesség ötszöröse, tehát a megtett út is ötszöröse az *AC* idő alatt megtett útnak. Ennek az egyszerű módszernek a segítségével tehát kiderül, hogy a nyugalomból kiinduló, egyenletesen gyorsuló testek esetén, ahol a sebesség az eltelt idővel arányosan növekszik, a szomszédos, azonos hosszúságú időintervallumokban megtett utak úgy aránylanak egymáshoz, mint a páratlan számok az egységtől kezdve, tehát az egy, a három, az öt; ha pedig a mozgás kezdetétől számítjuk az utakat, kétszer annyi idő alatt négyszer, háromszor annyi idő alatt kilencszer akkora utat tesz meg a test, más szóval a befutott utak az eltelt idő négyzetével arányosak, azaz úgy aránylanak egymáshoz, mint az idők négyzetei.”



Láthatjuk, hogy az érvelések lényegében geometriai jellegűek, ezeknek az ábráknak alapvető újdonságuk azonban, hogy az idő telését mutatják az egyik irányban. Ez az ötlet feltehetőleg sokat segített a tudósnak problémái könnyebb megoldásában. A szöveg persze tartalmazza az algebrai leírást is, amelynek alapján azután konkrét feladatokat lehet megoldani.

Galilei a problémával való foglalkozása során nemcsak egyszerűen felfedezett egy törvényt, hanem annál jóval többet is tett. Bár nem mindenre csupán ő jött rá, de ő volt az, aki elsőként tankönyvszerűen megadta az egész kinematikai jelenségkörhöz – egyenletes mozgás, egyenletesen gyorsuló mozgás, szabadesés, hajítások – a mérhető mennyiségeket, az alapfogalmakat, az alapképleteket és -törvényeket, a problémák megoldásának mintáit. Ugyanígy nem kizárólagos felfedezőként, de ő fogalmazott meg világosan néhány nagyon általános mechanikai alapelvet is. Ilyen az ún. Galilei-féle relativitási elv, amelyet a „Párbeszéd”-ből idézünk:

„Egy mozgás csak addig nevezhető mozgásnak és csak addig hat mint ilyen, amíg olyan dolgokhoz viszonyítjuk, amelyek nem mozognak. De azok között a dolgok között, amelyek egyaránt mozognak, hatástalan, éppolyan, mintha nem is jönne létre. Az áru, amellyel egy hajót megraktak, mozog, amennyiben elindul Velencéből és Korfut, Kandiát és Ciprust érintve Aleppóba ér; ebben az esetben Velence, Korfu, Kandia stb. helyükön maradnak és nem mozognak együtt a hajóval. Ezzel szemben az árubálák, ládák és egyéb csomagok szempontjából, amelyek mint rakomány vagy ballaszt a hajón vannak, a hajóra vonatkoztatott mozgás Velencétől Szíriáig nem létezik, kölcsönös helyzetük semmiképpen nem változik meg; következik ez abból, hogy a mozgás általános, amelyben minden részt vesz. Ha egy bála csak egylábnyira távolodik el az egyik ládától, ez számára nagyobb mértékű helyváltoztatás a ládára vonatkoztatva, mint az egész kétezer mérföldes utazás, amit együttesen végeznek. ...

„... minden, ami mozog, valami mozdulatlanhoz viszonyítva mozog. ...”

Az ehhez tartozó kísérlet színes leírása:

„Zárkózzál be egy barátod társaságában egy nagy hajó fedélzete alatt egy meglehetősen nagy terembe. Vigyél oda szúnyogokat, lepkéket és egyéb röpködő állatokat, gondoskodjál egy apró halakkal telt vizesedényről is, azonkívül akassz

fel egy kis vödört, melyből a víz egy alája helyezett szűk nyakú edénybe csöpög. Most figyelj meg gondosan, hogy a repülő állatok milyen sebességgel röpködnek a szobában minden irányba, míg a hajó áll. Meglátod azt is, hogy a halak egyformán úszkálnak minden irányban, a lehulló vízcseppek mind a vödör alatt álló edénybe esnek. Ha társad felé hajítasz egy tárgyat, mind az egyik, mind a másik irányba egyforma erővel kell hajítanod, feltéve, hogy azonos távolságokról van szó. Ha mint mondani szokás, páros lábbal ugrasz, minden irányba ugyanolyan messzire jutsz. Jól vigyázz, hogy mindezt gondosan megfigyeld, nehogy bármi kétely támadhasson abban, hogy az álló hajón mindez így történik. Most mozogjon a hajó tetszés szerinti sebességgel: azt fogod tapasztalni – ha a mozgás egyenletes és nem ideoda ingadozó –, hogy az említett jelenségekben semmiféle változás nem következik be. Azoknak egyikéből sem tudsz arra következtetni, hogy mozog-e a hajó, vagy sem. Ha ugrasz, ugyanakkora távolságra fogsz jutni, mint az előbb, és bármily gyorsan mozog a hajó, nem tudsz nagyobb ugrani hátrafelé, mint előre: pedig az alattad levő hajópadló az alatt az idő alatt, míg a levegőben vagy, ugrásoddal ellenkező irányban elmozdul előre. Ha társad felé egy tárgyat hajítasz, nem kell nagyobb erővel hajítanod, ha barátod a hajó elején tartózkodik, mint akkor, amikor hátul van. A cseppek éppúgy bele fognak hullani az alsó edénybe, mint előbb, egyetlenegy sem fog az edény mögé esni, pedig az, míg a csepp a levegőben van, több hüvelyknyi utat tesz meg. A halaknak sem kell az edényben nagyobb erőt kifejteni, hogy az edény elejére úszhassanak, és ugyanolyan könnyedséggel fognak a táplálék után menni, ha az edény bármely részén van is. Végül a szúnyogok és a lepkék is különbség nélkül fognak bármely irányba repkedni. Sohasem fog előfordulni, hogy a hátsó falhoz nyomódnak, mintegy elfáradva a gyorsan haladó hajó követésétől, pedig míg a levegőben tartózkodnak, el vannak választva tőle. Ha egy szem tömjént elégetünk, egy kevés füst képződik, mely felszáll a magasba és kis felhő gyanánt lebeg ott, és nem mozdul el sem az egyik, sem a másik irányba. A jelenségek ez egyformaságának az az oka, hogy a hajó mozgásában minden rajta levő tárgy részt vesz, beleértve a levegőt is. Azért is mondtam, hogy a fedélzet alatt kell elhelyezkednetek, mert fent, a szabad levegőn, mely nem kíséri a hajó mozgását, az említett jelenségektől többé-kevésbé észrevehető eltéréseket tapasztalhatnátok.”

Hasonló módon eljut a tehetetlenség elvéhez is, amelyet ugyanebben a könyvben egy golyónak a vízszintes síkon történő mozgásával kapcsolatban fejt ki a szokott párbeszédés formában:

„SIMPLICIO. Itt kissé gondolkodnom kell a feleletről. Minthogy a sík nem hajlik, nem lehet semmiféle törekvés sem, mely a mozgást létrehozza; ezért nincs ellenállás sem, amely a mozgást akadályozná; a testben tehát nincs semmiféle törekvés arra, hogy mozogjon, de a mozgásnak nincs akadálya sem. Azt hiszem tehát, hogy az a természetes, ha nyugalomban van. De mennyire feledékeny vagyok! Hiszen nemrég magyarázta meg nekem Sagredo, hogy ennek így kell lennie.

SALVIATI. Nekem is ez a véleményem, feltéve, hogy nyugalomban került oda. De mi történnék, ha valamelyik irányba meglöktük volna?

SIMPLICIO. Nem látok okot sem gyorsulásra, sem lassulásra, mert nincs emelkedés vagy ereszkedés.

SALVIATI. De ha nincs ok lassulásra, még kevesebb ok van a tökéletes nyugalomra. Mennyi ideig kell tehát a testnek mozognia?

SIMPLICIO. Mindaddig, amíg ennek a sem meredek, sem hajlott felületnek a kiterjedése tart.

SALVIATI. Ha tehát ennek a felületnek hossza határtalan lenne, akkor ugyebár a mozgás időtartama is végtelen, vagyis örökkévaló lenne?”

Galilei stílusa – műszerek készítése, mérések kivitelezése, matematikai formájú törvények megállapítása – közvetlen tanítványain, könyvein, perein keresztül nagy hatással volt Európa tudósaira, és ezáltal a tudomány fejlődésére. Két tanítványát szeretnénk itt megemlíteni, a matematikus és fizikus Evangelista Torricellit (1608–1647), és a fizikus-csillagász-fiziológus Giovanni Alphonso Borellit (1608–1679). Előbbi részben Galilei műszereinek továbbfejlesztésével alkotta meg első használható hőmérőit és légnyomásmérőit, fedezte fel a légköri nyomást, magyarázta meg a szelet. Részben azonban mesterétől függetlenül tanulmányozta a szabadesés problémakörét, és jutott el később hasonló eredményekhez, megtetézve azokat hidrodinamikai újdonságokkal (pl. a víz kifolyási sebességének meghatározása) is. Borelli pedig lényegesen túllépett mesterén, amennyiben úgy vélte, az égitesteket egy centrális vonzóerő és egy ugyanakkora ellenkező irányú erő tartják meg pályáikon – Galilei Arisztotelész nyomán a körmozgást még erőt nem igénylő, természetes mozgásnak tartotta –, a bolygókat a Nap éppúgy vonzza, mint környezetünkben fellelhető testeket a Föld. Feltárta 1667 körül a rugalmatlan testek ütközési törvényét is.

Galileihez hasonlóan a módszertani szakaszon kívül itt is meg kell említenünk Descartes-ot, aki metodológiai alapvetése mellett konkrétabb munkákkal is hozzá kívánt járulni a mechanika haladásához. Úgyszólván teológiai-filozófiai általánosságban beszél a mozgásmennyiség megmaradásáról, és fel is használja ezt az elvet kozmológiájában.

„Most, hogy megvizsgáltuk a mozgás természetét, megnézhetjük az okát, és mivel a dolognak kétféle módja lehet, az elsővel és általánosabbal kezdjük, amely általában a világon lévő összes mozgást létrehozza; utána vesszük a másik okot, amely az anyag minden egyes darabjának – amely korábban nem rendelkezett vele – mozgást ad. Ami az első okot illeti, nyilvánvalónak tűnik számomra, hogy az nem más, mint Isten, Aki mindenhatósága révén megteremtette a mozgó és nyugvó részekkel rendelkező anyagot, és Aki azután szokásos műveletei során annyi mozgást és nyugalmat őriz meg a világegyetemben, amennyit az első teremtésben beletett. Noha igaz, hogy a mozgás csak a mozgatott anyag tulajdonsága, ennek ellenére van egy mennyisége, amely sosem csökken és növekszik, bár egyes részeiben időnként több és időnként kevesebb van belőle; ezért van az, hogy ha az anyag egy része kétszer olyan gyorsan mozog, mint egy másik része, és ez a másik rész kétszer olyan nagy, mint az első rész, akkor jogunk van azt gondolni, a kisebb testben ugyanannyi mozgás van, mint a nagyobbban, és hogy mindig és amennyire az egyik rész mozgása csökken, valamilyen másik részé arányosan nő. Azt is

tudjuk, hogy Isten tökéletességeinek egyike nem csupán természetének változatlansága, hanem az is, hogy oly módon cselekszik, amely sosem változik: olyan mértékig, hogy a változások mellett, amelyeket látunk a világban, és azok mellett, amelyekben hiszünk, mert Isten kinyilatkoztatta őket, és amelyekről tudjuk, hogy megtörténtek a Teremtő minden változása nélkül, nem kéne Neki tulajdonítanunk munkájában semmilyen más változást attól féltve, hogy változékonyságot tulajdonítunk Neki; amiből következik, hogy mivel sok különböző módon adott mozgást az anyag részeinek, amikor teremtette őket és mivel ugyanazzal a viselkedéssel és ugyanazokkal a törvényekkel tartotta fenn őket, amelyeket megszabott számukra teremtésükkor, folyamatosan egyenlő mennyiségű mozgást őriz meg ebben az anyagban.”⁶⁴

Kevésbé sikerül pontos *fizikai* jelentést adnia a mozgásmennyiség fogalmának. Mint látjuk, tulajdonképpen a test nagyságával (tömegével) és sebességének abszolút értékével (tehát nem vektorként) arányosként határozza meg, ami nem tette lehetővé, hogy korrekt módon leírjon bizonyos fizikai szituációkat (pl. ütközések mechanikája). Szintén Galileihez hasonlóan eljut viszont a tehetetlenségi törvényhez, és még előbbre lép a változó mennyiségek kezelésében, amennyiben kifejleszti az analitikus geometriát, felhasználja a függvény fogalmát. Descartes szintén Európa-szerte ismert és sokféle szempontból állandóan hivatkozott tudóssá vált, aki programadóként és sok más gondolatával is a mechanikai forradalom előkészítőjének számít.

Honfitársai szintén hozzájárultak a kor fizikájának fejlődéséhez, elég, ha itt most Marin Mersenne (1588–1648), Blaise Pascal (1623–1662) és Pierre Fermat (1601–1665) nevét említjük. Mersenne elsősorban akusztikai kísérletekben volt eredményes: vizsgálta a húrok tulajdonságai és hangmagassága közötti összefüggéseket, elsőként mérte meg a hang sebességét egy ágyú torkolattüzének és hangjának segítségével 1636-ban (húsz évvel később Borelli mérte meg pontosabban). Foglalkozott folyadék- és ingamozgással, elektro- és magnetosztatikával, optikával is, de különösen fontos volt tudományszervezői tevékenysége. A folyóiratok előtti korszakban ő töltötte be azok szerepét, ugyanis Európa sok tudósával (Descartes, Huygens, Pascal, Torricelli, Fermat stb.) állt levelezésben és közvetítette egymásnak eredményeiket. Kiadta Galilei és Descartes műveit, és az ő francia tudósköréből alakult meg halála után, 1666-ban a Párizsi Tudományos Akadémia. Pascal matematikai és filozófiai munkásságán kívül elsősorban hidrosztatikai eredményeiről és légnyomásméréseiről volt híres, Fermat pedig a matematika mellett az optikában alkotott maradandót.

Galilei és Descartes mellett Huygens volt a harmadik, aki a legtöbbet tett az új tudományért. Kevesebbet filozofált bármelyiküknél, annál többet dolgozott azonban eredményesen különböző matematikai, fizikai és csillagászati problémákon. Ő volt az, aki Galilei alapmegfigyelése után teljesen kidolgozta az ingamozgás matematikai és fizikai elméletét, de előtte még 1657-ben megalkotta az ingaórát, amely(nek működési elve) egészen a legutóbbi időkig döntő fontosságú volt az időmérésben. Eközben világhíressé tette a középponti erők fogalmát és szerepét. Mellesleg az ingák járásának eltéréseiből arra is következtetett, hogy a Föld alakja nem pontosan gömb, hanem a sarkoknál lapult.

Ő volt az is, aki 1669-ben – miután Borelli már megállapította a rugalmatlan ütközés törvényeit – felfedezte a rugalmas ütközés szabályszerűségeit. (Itt jegyezzük meg, hogy a mechanika

⁶⁴ Descartes: *A filozófia elvei* II. rész § 36. (1644).

történetében természetesen sokan közreműködtek még, akiknek nevére a tudománytörténet kevésbé emlékezik. Így például a rugalmas és rugalmatlan ütközéseket először világosan a cseh Johannes Marcus Marci (1595–1667) különböztette meg, Descartes például ezt a különbséget nem érzékelte.) Huygens levezetései – többek között – a következő feltevéseken alapulnak:

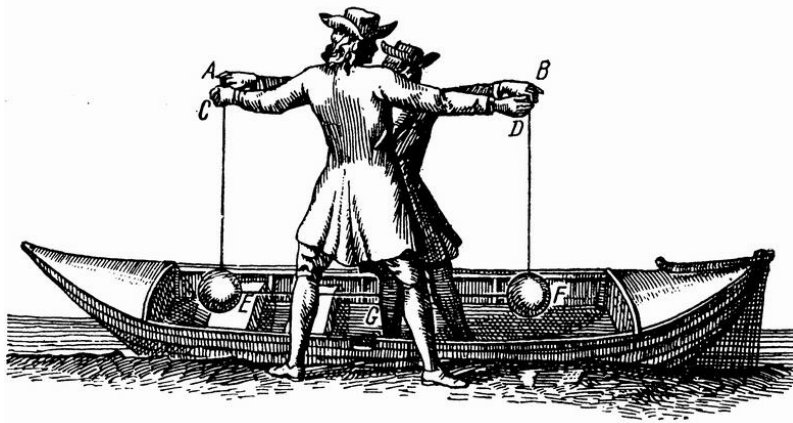
„**I. Feltevés:** A mozgásban lévő test akadály hiányában változatlanul ugyanazzal a sebességgel és egyenes vonalban folytatja mozgását.

II. Feltevés: A szilárd test ütközésének okától függetlenül az ütközés után a következő helyzetet kapjuk:

Ha két egyforma sebességgel egymás felé mozgó egyforma test egyenesen ütközik, akkor mindegyikük ugyanazzal a sebességgel pattan vissza, mint amekkorával ütközött.

Az ütközést akkor nevezzük egyenesnek, ha maga a mozgás és az ütközés a testek súlypontját magában foglaló egyenes mentén történik.

III. Feltevés: A testek mozgását, valamint egyforma vagy különböző sebességüket más testekhez kell viszonyítani, amelyeket nyugvónak tekintünk, és nem vesszük figyelembe, hogy akárcsak azok, ezek a testek is részt vehetnek valamilyen más, közös mozgásban. Ezért két ütköző test, még abban az esetben is, ha mindkettő együtt részt vesznek egy más egyenletes mozgásban is, annak a személynek számára, aki szintén részt vesz a közös mozgásban, úgy hat egymásra, mintha ez a közös mozgás nem létezne.”



Huygens ábrája

Ha például egy egyenletesen mozgó hajó utasa ütköztet két – megintcsak az utashoz képest – egyenlő sebességű egyforma golyót, akkor ezek a golyók az utashoz és a hajóhoz képest egyenlő sebességgel pattannak vissza, teljesen úgy, mintha az utas ezeket a golyókat egy álló hajón vagy a parton ütköztette volna (lásd Huygens ábráját).⁶⁵

⁶⁵ Huygens: *A testek ütközés miatti mozgásáról* (Leiden, 1703).

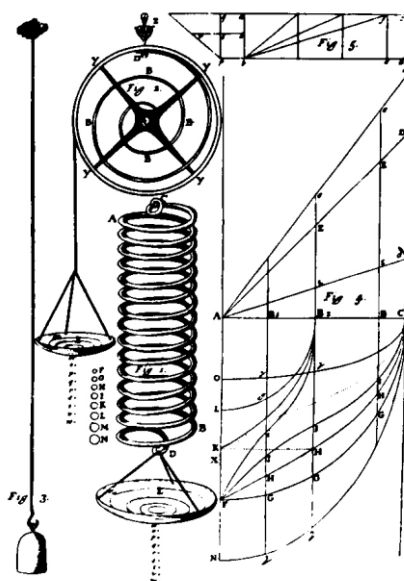
Eközben világossá vált előtte a tehetetlenség elve, az egymáshoz képest egyenletesen mozgó vonatkoztatási rendszerek mechanikai ekvivalenciája, a mozgásmennyiség (mv) megmaradása és a később eleven erőnek nevezett mennyiségtől (mv^2) való különbözősége. Huygens egészen közel jutott az általános nehézkedés megfogalmazásához is, miközben természetesen maradandót alkotott az optikában, többek között a fény hullámelméletének terén, fontos csillagászati megfigyeléseket végzett és hőtani eredményeket ért el.

Végül e pontban szeretnénk még megemlíteni Newton idősebb angol kortársai közül Robert Boyle-t (1627–1691) és asszisztensét, Robert Hooke-ot (1635–1703). Előbbi inkább a kémiában szerzett kiemelkedő nevet magának, de a mechanika (hidrosztatika, akusztika, rugalmas testek) és a hőtan területén is működött, élen járt a kísérletezés angliai elterjesztésében és megalapította Oxfordban azt a tudós társaságot, amely később a londoni Royal Society alapját képezte. A szintén kiváló – a Boyle-féle gáztörvényhez asszisztensként a kísérleti adatokat nyújtó – kísérletező és műszerkészítő, Hooke már inkább fizikusnak mondható, fő munkaterületei a hőtan, a rugalmasságtan, az optika és az égi mechanika voltak. 1675-ben fedezte fel a rugalmas alakváltozások róla elnevezett erőtvényét, de ekkor már tisztában volt a testek általános vonzásának lényegével is, 1680-ra pedig eljutott a fordított négyzetes törvényhez.

„A rugók elméletét, bár korunk különböző jeles matematikusai próbálkoztak vele, eddig még senki sem hozta nyilvánosságra. Körülbelül most tizennyolc éve, hogy elsőként kitaláltam, de mivel azt terveztem, hogy fel fogom használni bizonyos konkrét alkalmazásokra, ezért közlését elmulasztottam.

Mintegy három évvel ezelőtt Őfelsége szíveskedett megtekinteni az ezt az elméletet bizonyító kísérletet, valamint rugós órát a *Whitehallon*.

Két éve nyomtattam ki ezt az elméletet egy anagrammában a helioszkópokat leíró könyvem végén, nevezetesen *ceiinoosssttu* formában, ami annyit tesz: *ut tensio sic vis*, azaz, bármely rugó ereje arányos feszítésével; azaz, ha valamilyen erő megnyújtja vagy meghajlítja valamilyen mértékben, akkor kétszer akkora kétszeresen hajlítja meg, háromszor akkora háromszorosan és így tovább. Mivel az elmélet nagyon rövid, kipróbálásának módja is nagyon könnyű.



Hooke ábrája

Vegyünk valamennyi egyenletesen kihúzott drótot, akár acélt, vasat vagy rezet, és tekercseljük spirálisan egy egyenes hengerre tetszés szerinti hosszban vagy menetszámban, azután a drót végeit hajlítsuk hurkokba, az egyiknél fogva ezt a tekercest akasszuk fel egy szögre, a másik pedig tartsa a súlyt, amellyel meg akarjuk nyújtani. Súlyokat ráakasztva, figyeljük meg pontosan, hogy az egyes súlyok milyen hosszúságúra nyújtják meg a saját súlya által okozott megnyúláshoz képest, és azt fogjuk találni, hogy ha egy uncia, vagy egy font, vagy egy bizonyos súly megnyújtja egy vonallal, vagy egy hüvelykkel, vagy egy bizonyos hosszúsággal, akkor két uncia, két font, vagy két súly két vonallal, két hüvelykkel vagy két hosszúsággal fogja megnyújtani; három uncia, font vagy súly pedig három vonallal, hüvelykkel vagy hosszúsággal; és így tovább. A természetnek ez az a szabálya vagy törvénye, amelynek alapján mindenfajta visszatérülő vagy rugózó mozgás végbemegy, legyen az akár ritkulás, tágulás, sűrűsödés vagy összenyomás.

Vagy vegyünk egy órarugót, és tekercseljük spirálba, hogy egyetlen része se érinthesse a másikat, azután gondoskodjunk egy nagyon könnyű rézkerékről, vagy ilyesmiről, és rögzítsük egy két kis acél forgócsappal rendelkező tengelyre, amely csapokon a mondott kerék nagyon egyenletesen és simán forog, úgyhogy egy kis selyemfonalat lehet rátekercselni. Tegyük ezt a kereket egy keretbe, úgy hogy a kerék nagyon szabadon mozoghasson a tengelycsapjain; erősítsük a korábban említett rugó középponti végét a mozgó kereket tartalmazó keret középpontjához vagy a tengelycsap lukjához közel, a másik végét pedig a kerék karimájára. Azután egy finom selyemszálat tekercselünk a kerékre, a végére egy könnyű kis skálát függesztünk, amelynek vége alkalmas arra, hogy súlyt akasszunk rá. Hagyjuk, hogy a kerék elfoglalja saját helyzetét, a keretre erősítsünk egy a kerék karimájára irányuló kis mutatót, tintával vagy ilyesmivel jelöljük meg a karimának azt a részét, amelyre a mutató mutat; azután tegyünk egy dram súlyt a skálára, és hagyjuk a kereket nyugalomba jutni, tegyünk egy másik jelet a karimára, ahova a mutató mutat, azután tegyünk rá egy drammal többet, és ismét hagyjuk a kereket

nyugalomba jutni, majd mint korábban, jelöljük meg tintával a karimának a mutató által jelzett pontját; azután tegyünk rá egy harmadik dramot, és csináljuk, amit az előbb, majd egy negyediket, ötödiket, hatodikat, hetediket, nyolcadikat sít, hagyva a kereket nyugalomba jutni, és megjelölve a mutató által jelzett helyeket. Utána vizsgáljuk meg a jelek távolságait, és egymással összehasonlítva őket, azt fogjuk találni, hogy azok mind egyenlőek lesznek egymással, úgyhogy ha egy dram a kereket tíz fokkal mozdítja el, két dram hússzal fogja elmozdítani, három pedig harminccal, négy negyvennel, öt ötvennel és így tovább.

Vagy vegyünk egy húsz, harminc vagy negyven láb hosszú dróthuzalt, és erősítsük a felső részét egy szöghöz, a másik végéhez pedig erősítsünk egy skálát, amelyre a súlyokat rakhatjuk. Azután egy körzővel vegyük fel a skála aljának és a földnek vagy a padlónak a távolságát, és írjuk fel ezt a távolságot, majd tegyünk súlyokat a mondott skálára, ugyanúgy mint az előző kísérletekben, és mérjük meg a mondott drót megnyúlásait, valamint írjuk is le őket. Azután hasonlítsuk össze a mondott drót megnyúlásait, és azt fogjuk találni, hogy azok mindig olyan arányban fognak állani egymással, mint a súlyok.

Ugyanezt találjuk, ha kipróbáljuk, egy darab száraz fa esetén, amely meghajlik és visszatér, ha az egyik végét vízszintes helyzetben rögzítjük, a másik végére pedig súlyokat függesztünk, amelyek lehajlítják.

Ugyanennek a levegővel való kipróbálási módját, akár ritkítás, akár sűrítés esetén, mintegy tizennégy évvel ezelőtt nyilvánosságra hoztam *Micrographia* című művemben, ezért nincs szükség rá, hogy itt tovább foglalkozzam vele.”⁶⁶

4. A mechanikai program megvalósulása a newtoni szintézisben

Az égi és földi fizikában elért eredményeket – optikai, csillagászati, matematikai, kémiai, teológiai munkássága mellett – Isaac Newton angol tudós összegzi. Élete az angol polgári forradalom mozgalmas időszakára esik, tudományszociológusok szerint egyáltalán nem véletlen, hogy a társadalmi dinamizmusnak ebben a korszakában – amikor egyetlen emberöltő alatt lehetett tapasztalni polgárháborút, forradalmat, királyi kivégzést, köztársaságot, diktatúrát, restaurációt stb. – alkotja meg a fizikai dinamikát. Megvalósítja Descartes programját, amennyiben létrehoz egy tudományt, mely a világot úgy írja le, hogy beszámol a testek mozgásáról. Az alak (forma) és mozgás szerinti leírás mellett nem teljesíti viszont a közelhatásra vonatkozó kartézianus elképzeléseket (Descartes örvényelméletéről tételesen bebizonyítja, hogy nem lehet igaz), ugyanis távolhatást tételez fel a testek között. Ilyen távolhatásra (az általános tömegvonzás törvényére) alapozva bebizonyítja, hogy egy kő és a Hold mozgása ugyanolyan eljárásokkal írható le, és ezzel egyesíti a földi és égi fizikát. Tevékenységét a legtöbb tudománytörténész – de már a kortársak is – fordulópontnak tartja a fizika történetében. Lényegében a mai értelemben vett tudomány kezdete fűződik a nevéhez.

Hangsúlyoznunk kell, hogy a mechanikára, a tömegvonzásra (sőt a módszerre, lásd megfigyelési és kísérleti adatok felhasználása, a matematika alkalmazása) vonatkozó ötletek, eredmények egy jó része másoktól (is) származik – nem véletlen tehát a Newton körüli prioritásviták halmozódása. Kétségtelen, hogy az angol tudósoknak is voltak új részeredményei, de legnagyobb érdeme – és részben honfitársáé, a csillagász és fizikus Edmund Halleyé (1656–1743),

⁶⁶ Hook: *De Potentia Restitutiva* (1678).

aki rábeszélte, hogy az első eredmények után több mint 20 évvel végre mindent leírjon – az eredmények és módszerek rendszerré szervezése. A forradalmi újítás tulajdonképpen az a tudományos stílus, amely a kísérleti adatokból indul ki, ezek mögött leegyszerűsített fizikai létezőket és feltételeket sejt, amelyekre egyszerű matematikai modellt készít; a matematikai technika segítségével nyert eredményeket összeveti a megfigyelési adatokkal, és ha komoly eltéréseket tapasztal, akkor egyre bonyolultabb fizikai létezőket és feltételeket felvéve, bonyolultabb modellt készítve, az eljárást addig ismétli, míg az egyezés nem lesz kielégítő. Ennek a stílusnak az eredményessé tétele Newton főművében a *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ban történt meg 1687-ben és a könyv későbbi – de még a szerző életében megjelent – kiadásában.⁶⁷

a) *A Principia*

Mint a címből láthatjuk, a szerző a művet természetfilozófiai jellegűnek tartja. Mi ma már legtöbb részét inkább fizikának véljük, de tagadhatatlanul tartalmaz még most is természetfilozófiainak számító gondolatokat. Az előszó az elvégzendő feladatot a következőképpen körvonalazza:

„... a természetben előforduló erőket tanulmányozzuk. ... főleg azokkal a jelenségekkel foglalkozunk, amelyek a nehézségre, a könnyűségre, a rugalmasságra, a folyadékok ellenállására és más vonzó- vagy taszítóerőre vonatkoznak. ... Úgy tűnik ugyanis, hogy a természetfilozófia feladata abban áll, hogy a mozgásjelenségekből következtessen a természeti erőkre, és ezeknek az erőknek az ismeretében találjon magyarázatot a többi jelenségre is. ... Jó lenne, ha a többi természeti jelenséget is megmagyarázhatnánk mechanikai törvények segítségével. Ugyanis több okom van arra, hogy azt higgyem, hogy az összes jelenségek bizonyos erőktől függenek. ... Ezekről az ismeretlen erőkről a természetfilozófusok eddig eredménytelenül faggatták a természetet. Remélem azonban, hogy az itt lefektetett elvek némi világosságot derítenek a természetfilozófiának erre, vagy valamely más, igazabb kutatómódszerére.”

Newton e könyvben – a címének megfelelően – egy olyan axiomatikus matematikai rendszer keretében tárgyalja a mechanikát, amelyhez hasonló tulajdonképpen csak az ókorból ismert a tudomány. A főszöveg definíciókkal kezdődik:

„I. MEGHATÁROZÁS

Az anyag mértéke a mennyisége; ezt a mennyiséget az anyag sűrűsége és térfogata együttesen határozza meg.

⁶⁷ A mű csak részben olvasható magyarul. A „Principia” első tizede – lényegében a dinamika axiómarendszere – megjelent: Isaac Newton: *A Principiából és az Optikából. Levelek Bentleyhez* (Kriterion, Bukarest, 1981). Szintén megjelent magyarul az utolsó ötöd egy korábbi változata – a tömegvonzás, a Naprendszer, az árapály és az üstökösök elmélete: Newton: *A világ rendszeréről és egyéb írások* (Európa, Budapest, 1977).

II. MEGHATÁROZÁS

A mozgás mértéke a mozgásmennyiség; ezt az anyag sebessége és mennyisége együttesen határozza meg.

III. MEGHATÁROZÁS

Az anyag veleszületett belső ereje az az ellenálló képesség, amellyel minden test rendelkezik.

A magára hagyott test megőrzi nyugalmi állapotát vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását.

IV. MEGHATÁROZÁS

A kívülről ható erő az a testre gyakorolt hatás, amely megváltoztatja a test nyugalmi állapotát vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását.

V. MEGHATÁROZÁS

A centripetális erő az az erő, amelynek hatására a test valamely pont mint középpont felé vonzódik, taszítódik, vagy valami módon errefelé igyekszik.”

E fogalmak nem voltak teljesen előzmény nélküliek, de itt többnyire új – és ráadásul első ízben elméleti – tartalmat nyertek (ha nem is véglegeset, hiszen például az erő fogalma még további változásokon ment keresztül egészen napjainkig).

Az egyes definíciókat, majd a definíciók összességét magyarázó jegyzetek követik. Az előbbi jegyzetek bővebben kifejtik, érthetőbbé teszik a meghatározásokat, az utóbbi pedig bemutatja azt a természettudományos világképet, ami a definíciók mögött rejlik.

„Mivel az idő, a tér, a hely és a mozgás mindenki előtt ismeretes, ezeket a fogalmakat nem határoztam meg.”

Majd mégiscsak ad valamiféle meghatározásokat.

„I. Az abszolút, valóságos és matematikai idő önmagában véve, és lényegének megfelelően, minden külső vonatkozás nélkül egyenletesen múlik, és más szóval időtartamnak is nevezhető. A viszonylagos, látszólagos vagy mindennapi idő érzékelhető, külsőleges, és a mozgás időtartamának mértékéül szolgál (pontosan vagy változékonyan), amelyet a mindennapi életben a valódi idő helyett használunk, mint az órát, a napot, a hónapot és az évet.

II. Az abszolút tér, saját lényegénél fogva, külsőleg egyáltalán semmihez sem viszonyítva, mindenkor egyenlő és változatlan marad. A relatív tér az előbbinek a mértéke, vagy ennek valamilyen mozgó része, amely a testekhez viszonyított helyzete következtében válik érzékelhetővé és ezért közönségesen mozdulatlan térnek tekintjük. ...

...

IV. Az abszolút mozgás a testnek egyik abszolút helyről a másokra való helyválttatása; a relatív mozgás pedig az egyik relatív helyről a másokra való átmenet. ...

Mind az idő, mind a tér részeinek az egymásutánja megváltoztathatatlan. Ha ezeket eltávolítjuk a helyükből, akkor ez azt jelenti (mondjuk így), hogy ezek saját maguktól is eltávolodnak. Az idő és a tér azonban önmaguknak és minden más dolognak a helyei. Az egymás után következő dolgok időben, az egymás mellett levők térben helyezkednek el. Mindkettő lényege az, hogy hely; az elsődleges helyeket pedig nem lehet megváltoztatni. Következésképpen ezek abszolút helyek, és csak ezen helyekből való elmozdulás tekinthető abszolút mozgásnak.

Mivel azonban a térnek ezek a helyei nem láthatók és nem is különböztethetők meg egymástól, ezért helyettük érzékelhető mennyiségeket használunk. A dolgoknak valamely mozdulatlan tekintett testtől mért helyzete és távolsága alapján határozzuk meg az összes helyeket. Hasonlóképpen becsüljük fel az összes mozgásokat, amelyeket a rögzített helyre vonatkoztatunk, amennyiben azt észleljük, hogy a testek ettől a helytől távolodnak. Ezért az abszolút mozgás helyett a viszonylagost használjuk, és ez a mindennapi életben nem alkalmatlan. A természetfilozófiában azonban függetleníteni kell magunkat az érzetektől. ...”

Felveti a kérdést, hogy vajon egyáltalán létezik-e nyugalmi helyzetben levő test, eldönthető-e, hogy egy test abszolút mozgás végez. Erre válaszol a híres vödörkísérlettel.

„Azok az okok, amelyek segítségével a valódi és a relatív mozgásokat megkülönböztethetjük egymástól, a testre ható erők, amelyek a mozgást létrehozzák. Valódi mozgást csak olyan erő hozhat létre és változtathat meg, amely ténylegesen kifejti hatását a mozgó testre. Relatív mozgás létrejöhet és megváltozhat anélkül, hogy a testre külső erő hatna. ...

Az abszolút és relatív mozgás hatásában rejlő különbség abban az erőben jelentkezik, amellyel a test eltávolodni igyekszik a forgástengelytől. Relatív körmozgás esetében ilyen erő nincsen, de valódi és abszolút körmozgásnál ez az erő, a mozgásmennyiséggel arányosan, nagyobb vagy kisebb. Erősítsünk egy edényt hosszú zsineg végére, és csavarjuk körbe a zsinetet, míg egészen merev nem lesz. Ezután töltsük meg az edényt vízzel és hozzuk mindkettőt nyugalomba. Ha most hirtelen valamilyen erő ellenkező irányú forgásba hozza a zsinetet, akkor az visszacsavarodik, és hosszú ideig az edény is követi ezt a mozgást. A víz felszíne eleinte vízszintes marad, akárcsak az edény mozgása előtt. Később azonban az edény lassanként erőt fejt ki a vízre, és a vizet arra kényszeríti, hogy forgásba jöjjön. A víz fokozatosan távolodik el a forgás középpontjától, és felmászik az edény falára, végül is a felszíne homorú alakot vesz fel. (Ezt a kísérletet saját magam is elvégeztem.) ... A víznek a felemelkedése azt mutatja, hogy a víz igyekszik eltávolodni a forgástengelytől. Éppen ennek a törekvésnek a segítségével ismerhető fel és mérhető meg a víz valódi és abszolút körmozgása, amely különbözik a víz relatív mozgásától. ...”

Az axiómarendszerben következnek a mozgás axiómái vagy törvényei.

„ELSŐ TÖRVÉNY

Minden test megmarad nyugalmi állapotában vagy egyenletes és egyenes

vonulú mozgásában, hacsak külső erő nem kényszeríti ennek az állapotnak az elhagyására.

MÁSODIK TÖRVÉNY

A mozgás megváltozása arányos a külső, mozgató erővel, és annak az egyenesnek az irányában megy végbe, amelyben ez az erő hat.

HARMADIK TÖRVÉNY

A hatással mindig egyenlő nagyságú és ellentétes visszahatás áll szemben; más szóval: két testnek egymásra gyakorolt kölcsönös hatása mindig egyenlő és ellentétes irányú.”

Ezekkel az alaptételekkel előttünk áll az ókoritól már teljesen különböző mozgás-felfogás. Az axiómákat követik a tételek.

„I. SZÁRMAZÉKOS TÉTEL (KOROLLÁRIUM)

Két erő együttes hatására a test egy paralelogramma átlója mentén mozog ugyanannyi ideig, mint ameddig az erők külön előidézett hatására az oldalak mentén.”

Az axiómákat és tételeket szintén magyarázó jegyzetek kísérik, majd következik a testek mozgásáról szóló rész tételekkel és geometriai jellegű segédtételekkel, magyarázó jegyzetekkel. A bizonyítások a műben nem a Newton által kidolgozott fluxióos módszerrel (infinitezimális számítással) történnek – mivel ez nem volt még ismert a kortársak előtt –, hanem geometriai módon. A *Principia* második része a testek anyagi közegben való mozgását tárgyalja (közegellenállás), a harmadik része pedig a gravitációs törvényt és következményeit (Naprendszer stb.) – itt történik meg konkrétan az égi fizika földi fizikával történő tárgyalása. Az egyetemes tömegvonzás fordított négyzetes törvénye (amire a Kepler-törvényekből következtetett) és a dinamika ismeretében levezethető a Hold mozgása, a precesszió, a Föld alakja, a mesterséges holdak pályája stb. Ami ezek után az egységes fizikán kívüli tényezők számára megmaradt – de nem a *Principiában*, hanem egy paphoz írt levelekben –, az a világregszer létrehozásának lehetősége:

„... ha a Nap kezdetben maga is fénytelen test volt, mint a bolygók, vagy ha a bolygók fénylettek úgy, mint a Nap, akkor vajon hogyan lehetséges, hogy egyedül a Nap változott sugárzóvá, míg a planéták fénytelenek maradtak, vagy hogyan válhattak ezek fénytelené, míg a Nap fényes maradt – mindezeket, úgy gondolom, nem lehet pusztán természetes okokkal megmagyarázni, hanem arra jutottam, hogy egy bölcs és találékony Akarat működésének tulajdonítsam őket. S ugyanez a – természeti vagy természetfeletti – Erő helyezte a Napot a hat elsőrendű bolygó középpontjába, mely a Saturnust öt másodrendű bolygója pályáinak centrumába, a Jupitert négy másodrendű bolygójának középpontjába, a Földet pedig a Hold pályájának centrumába állította; ha tehát ez az Ok vakon, terv és megfontolás nélkül működött volna, akkor a Nap ugyanolyan fajtájú test volna, mint a Saturnus, a Jupiter vagy a Föld, azaz fény és meleg híján szűkölködnék. Hogy miért csak egyetlen olyan test van a Naprendszerünkben, amely fényt és meleget

áraszt az összes többire – nem tudom okát adni, hacsak azt nem, hogy e Rendszer Alkotójának így tetszett ...

Második kérdésére azt válaszolom, hogy a bolygók jelenlegi mozgása nem származhatik kizárólag valamely természetes októl, hanem értelmes Akarat működésének eredménye. ... nyilvánvaló, hogy nem valamely természetes ok, hanem a bölcs Megfontolás eredménye az, hogy az összes bolygók, az elsőrendűek és másodrendűek egyaránt, számottevő eltérés nélkül, ugyanabban az irányban és egyazon síkban keringenek. ... E rendszer megalkotása tehát, sokféle mozgásával egyetemben, oly Ok működését szűkségelte, amely áttekintette és összevetette a Nap és a bolygók anyagának mennyiségeit, az ebből fakadó gravitációs erőket, az elsőrendű bolygóknak a Naptól és a másodrendűeknek a Saturnustól, a Jupitertől és a Földtől való távolságait, továbbá azokat a sebességeket, amelyekkel ezek a bolygók a központi testekben foglalt anyagmennyiség körül keringhetnek; mindennek összeegyeztetése az égitestek ilyen nagy változatossága mellett arról tanúskodik, hogy ez az Ok nem lehetett vak és véletlenszerű, hanem fölöttébb jártas kellett legyen a mechanikában és a geometriában.

...

Mivelhogy a gravitáció mozgásba hozhatja a bolygókat, ám nem kényszerítheti őket olyan körpályákra, amelyeken jelenleg a Nap körül keringenek, ezért tehát, és még több más okból is, arra jutottam, hogy Rendszerünk megszerkesztését egy értelmes Lénynek tulajdonítsam.

...

Megelőzőleg kimutattam már, hogy a bolygók napi forgásai nem vezethetők le a gravitációból, hanem ehhez Isteni Beavatkozás szűkségeltetik. ... azok a transzverzális mozgások, amelyekkel a bolygók pályáikon keringenek, Isteni Kéz beavatkozásának eredményei, amely Kéz pályáik érintőjének irányába eső lökést adott nekik. Most még azt is hozzáteszem, hogy az anyag kezdeti egyenletes eloszlása az univerzumban, véleményem szerint, összeegyeztethetetlen az anyaggal veleszületett gravitáció hipotézisével, hacsak valamely természetfeletti Hatalom össze nem egyezteteti őket, s ily módon ez a hipotézis szintén Isten létezésére utal.”

b) Newton hatása

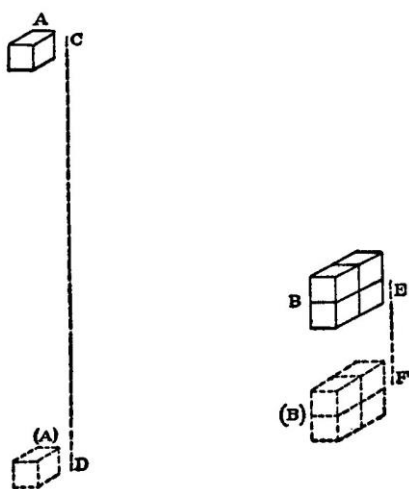
A newtoni axiómarendszer és annak rendkívüli eredményessége egy olyan világgépet sugall, amelyben minden összetehető mechanikai mozgásokról, amelyek pedig kiszámíthatóak. A mérések által adottak számunkra a testek, a rájuk ható erők és a matematikai idealizáció révén létrejött newtoni mechanika megmondja nekünk, mit kell csinálnunk a továbbiakban, hogy meg tudjuk állapítani, a testek merre tartanak, hol lesznek egy adott későbbi időpontban. Minden tökéletesen meghatározott és kiszámítható. Az erő ugyanis a newtoni dinamikában oka a mozgásnak, mindennek oka van, minden kauzális, determinisztikus kapcsolatban van a környezetével. Mindez az abszolút térben és időben, mint tartályokban történik.

Ez az analitikus-mechanikai módszer nem csupán az arisztotelészi értelemben vett tudás felett győzedelmeskedett, hanem az azóta esetleg felmerült más típusú felfogások ellenében is. Gondolunk itt például az alkímia által reprezentált módszerre, amely inkább a „jelek”-re, rejtett

(nem kauzális) összefüggésekre és a számmiszticizmusra támaszkodott – bizonyos szempontból szintén megszüntetve az égi és földi világ szétválasztottságát.

De ugyanígy járt a talán még inkább fizikai alternatívát jelentő Leibniz-féle mechanika, amely a newtonival szemben a relatív tér-idő és mozgás álláspontjára helyezkedett, középpontjában pedig az „eleven erő” megmaradása és átalakulásai, és bizonyos értelemben a legkisebb hatás elve állt:

„XVII. Többször említettem már az alárendelt elveket vagy természeti törvényeket, és ezért helyénvaló lesz, ha példát mutatok ezekre. Új filozófusaink általában arra a nevezetes szabályra támaszkodnak, hogy Isten a mozgásnak mindig ugyanazt a mennyiségét tartja fenn a világban. E szabály csakugyan nagyon meggyőző, és régebben én is kétségbevonhatatlannak tartottam. Időközben ráeszméltem azonban, hogy hol a hiba benne. A hiba az, hogy Descartes úr és sok más kiváló matematikus azt hitte: a mozgás mennyisége, azaz a sebesség szorozva a mozgó test nagyságával, teljesen megegyezik a mozgatóerővel; vagy geometriai kifejezésmóddal: az erők arányosak a sebességek és a testek szorzatával. Márpedig ésszerű, hogy a világmindenségben mindig ugyanaz az erő maradjon meg. Azt is jól láthatjuk, ha a jelenségeket figyelembe vesszük, hogy nem létezik mechanikai örökmozgás, mert különben egy gép ereje – amely a súrlódás következtében egy kicsit mindig csökken és hamarosan el kell fogynia – megújulna és következésképpen magától növekednék, anélkül, hogy újabb lökést kapna kívülről; látjuk továbbá, hogy egy test ereje csak abban a mértékben csökken, ahogyan átadja vele érintkező testeknek vagy saját részeinek, ha azoknak önálló mozgásuk van. Ezért azt hitték, hogy amit elmondhatunk az erőről, azt el lehet mondani a mozgás mennyiségéről is. Ám, hogy különbségüket kimutassam, *felteszem*, hogy egy bizonyos magasságból eső test arra az erőre tesz szert, amellyel visszamehet a kiindulóhelyére, ha az iránya oda viszi, legalábbis akkor, ha nem állják útját akadályok: például egy inga pontosan ugyanaddig a magasságig emelkednék, mint ahonnan elindult, ha a levegő ellenállása és néhány más kisebb akadály nem csökkentené azt az erőt, amelyre szert tett. *Felteszem* továbbá, hogy egy egy font súlyú A testnek a négyölnyi CD magasságba történő felemeléséhez ugyanakkora erő kell, mint egy négy font súlyú B testnek az egyölnyi EF magasságba történő felemeléséhez. Új filozófusaink mindezt elismerik. Nyilvánvaló tehát, hogy a CD magasságból eső A test ugyanakkora erőre tesz szert, mint az EF magasságból eső B test; mert a B testnek – amely eljutott F-be és ott akkora ereje van, hogy (az első feltevés értelmében) vissza tud menni E-ig – következésképp akkora ereje van, hogy egy négy font súlyú testet, vagyis a saját testét, fel tudja vinni az egyölnyi EF magasságba, és ugyanígy az A testnek – amely eljutott D-be és ott akkora ereje van, hogy vissza tud menni C-be akkora ereje van, hogy egy egy font súlyú testet, vagyis a saját testét, fel tudja vinni a négyölnyi CD magasságba. E két test ereje tehát (a második feltevés értelmében) egyenlő.



Lássuk most, hogy mindkettőnek a mozgásmennyisége is egyenlő-e: itt viszont meglepetésünkre azt találjuk, hogy a kettő között igen nagy különbség van. Galilei ugyanis bebizonyította, hogy a CD szakaszon történő esés végén felvett sebesség kétszerese az EF szakaszon történő esés végén felvett sebességnek, noha a magasság négyszeres. Szorozzuk tehát meg az A testet, amely 1 egységnyi, a sebességével, amely 2 egységnyi, és a szorzat vagy a mozgásmennyiség 2 lesz; másrészt szorozzuk meg a B testet, amely 4 egységnyi, a sebességével, amely 1 egységnyi, és a szorzat vagy a mozgásmennyiség 4 lesz; tehát az A test mozgásmennyisége a D pontban feleakkora, mint a B test mozgásmennyisége az F pontban, és a kettőnek az ereje mégis egyenlő. Nagy különbség van tehát a mozgásmennyiség és az erő között, és éppen ezt kellene bizonyítanunk. Látható ebből, hogy az erőt annak a hatásnak a mennyiségével kell mérni, amelyet létre tud hozni: tehát például azzal a magassággal, ahová egy bizonyos nagyságú és fajtájú súlyos test felemelhető, és ez lényegesen különbözik attól, hogy mekkora sebességet adhatunk neki. És ahhoz, hogy kétszer akkora sebességet adjunk neki, több mint kétszer akkora erő kell. Semmi sem lehet egyszerűbb ennél a bizonyításnál, és Descartes úr csak azért tévedett itt, mert túlságosan bízott saját gondolataiban, akkor is, amikor még nem forrtak ki eléggé. Azon viszont csodálkozom, hogy követői azóta sem vették észre ezt a tévedést, és attól tartok, hogy lassanként kezdenek utánozni bizonyos peripatetikusokat, akiket gúnyolódnak, és azt a szokást veszik fel, hogy azokhoz hasonlóan inkább várnak felvilágosítást mesterük könyveitől, mint az észtól és a természettől.

XVIII. A mozgásmennyiségtől különböző erő vizsgálata nagyon fontos, mégpedig nemcsak a fizikában és a mechanikában ahhoz, hogy megtaláljuk a természet igazi törvényeit és a mozgás szabályait, továbbá, hogy helyesbítsünk több számítási hibát, amelyek kiváló matematikusok írásaiba becsúsztak, sőt még a metafizikába is, hogy ily módon jobban megértsük az elveket. Mert a mozgás – ha csak azt tekintjük benne, amit pontosan és formálisan értünk rajta, nevezetesen a helyváltoztatást – nem egészen reális dolog, és ha több test változtatja meg egymáshoz viszonyított helyzetét, akkor pusztán e változások vizsgálata alapján nem lehet megállapítani, hogy melyiknek tulajdonítsunk közülük mozgást és melyiknek nyugalmat, amit meg tudnék geometriailag mutatni, ha most ezzel

kívánnék foglalkozni. Viszont sokkal realisabb dolog az erő, illetve e változások közvetlen oka, és elégséges alapunk van arra, hogy ezt inkább az egyik testnek tulajdonítsuk, mint a másinak, s azt is csak azáltal ismerhetjük fel, hogy melyik testet illeti meg inkább a mozgás. Márpedig az erő olyasmi, ami különbözik a nagyságtól, az alaktól és a mozgástól, ebből tehát arra következtethetünk, hogy amit a test fogalmán értünk, az nem csupán a kiterjedésből és ennek módosulataiból áll, miként modern filozófusaink bebeszélik maguknak. Ezért kénytelenek vagyunk visszahozni bizonyos lényegeket vagy formákat, amelyeket ők száműztek. S noha a természet valamennyi egyedi jelenségét meg tudják magyarázni matematikailag vagy mechanikailag, azok, akik értenek hozzá, mégis egyre inkább úgy látszik, hogy inkább metafizikaiak, semmint geometriaiak a testi természetnek, sőt magának a mechanikának az általános elvei, és ezek az elvek mint a jelenségek okai inkább tartoznak bizonyos formákhoz vagy oszthatatlan természetekhez, semmint a testi vagy kiterjedt tömeghez. Ez a meg gondolás alkalmas arra, hogy a modernek mechanikus filozófiáját összeegyeztessük azoknak az értelmes és jó szándékú személyeknek az óvatosságával, akik nem ok nélkül tartanak attól, hogy az emberek a kegyesség rovására túlságosan eltávolodnak majd az anyagtalan lényegektől.

XXI. Mivel bizonyos különleges testek mechanikai szerkezetének részleteiben mindig is felismerték Isten bölcsességét, e bölcsességnek feltétlenül meg kell mutatkoznia a világ általános kormányzásában és a természeti törvények felépítésében is. Olyannyira így van ez, hogy e bölcsesség végzéseit észrevehetjük a mozgás általános törvényeiben is. Ha ugyanis a testek semmi egyébből nem állnának, mint kiterjedéssel bíró tömegekből, a mozgás pedig semmi egyébből, mint helyváltoztatásból, és ha mindent kizárólag ezekből a definíciókból kellene és lehetne levezetni geometriai szükségszerűséggel, akkor ebből az következne – miként másutt megmutattam –, hogy a legkisebb test ugyanakkora sebességet kölcsönözne a legnagyobbnak, amelyik nyugalomban van és amelyikkel találkozik, mint amekkora sebessége saját magának van, mégpedig anélkül, hogy bármennyit is veszítene a magáéból; és még egy sor más ilyen szabályt kellene elfogadnunk, amelyek teljességgel kizárják valamilyen rendszer létrehozását. Viszont az isteni bölcsességnek az a rendelkezése, hogy összesen mindig ugyanaz az erő és ugyanaz az irány maradjon meg, még biztosítja ezt. Sőt úgy találom, hogy a természet több működését kétféleképpen is lehet bizonyítani, mégpedig a hatóok vizsgálatával, és a célok vizsgálatával is, felhasználva például Istennek azt a határozatát, hogy mindig a legegyszerűbb és a leginkább meghatározott módon hozza létre a hatást, amint másutt, a fényvisszaverődés-tan és a sugártöréstan szabályainak levezetésénél megmutattam, és miként arról hamarosan bővebben is beszélek majd.

XXII. Helyénvaló megjegyezni ezt, hogy azokat, akik mechanikusan próbálják magyarázni egy állat első szövetének, valamint a részek egész gépezetének kialakulását, kibékíthessük azokkal, akik célokkal magyarázzák ugyanezt a szerkezetet. Mindkettő jó, mindkettő hasznos lehet, mégpedig nem csupán azért, hogy megcsodáljuk a nagy mester művészetét, hanem azért is, hogy hasznos dolgokat fedezzünk fel a fizikában és az orvostudományban. És e különböző

utakon járó szerzőknek egyáltalán nem kell becsmérelniük egymást. Azt látom ugyanis, hogy akik az isteni anatómia szépségének magyarázatára törekszenek, gúnyolódnak azokon, akik azt képzelik, hogy bizonyos folyadékok véletlennek látszó mozgása is létrehozhatta a testrészeknek ezt a szép változatosságát, és úgy kezelik őket, mintha elbizakodottak és istentelenek volnának. Ezek viszont együgyűeknek és babonásaknak tartják amazokat, s hasonlatosaknak a régiekhez, akik istentelenséggel vádolták a fizikusokat, amiért azt állították, hogy a mennydörgés nem Jupiter műve, hanem valamilyen, a felhőkben található anyagé. Az lenne a legjobb, ha összekapcsolnánk egymással a két megközelítési módot; mert – ha szabad egy közönséges hasonlattal élnem – nemcsak azzal ismerem el és dicsérem egy kézműves hozzáértését, ha megmutatom, hogy milyen szándékai voltak, amikor megcsinálta gépének alkatrészeit, hanem azzal is, ha megmagyarázom, milyen szerszámokat használt minden egyes alkatrész elkészítésénél, kiváltképp ha ezek a szerszámok egyszerűek és ötletesen vannak kitalálva. Isten elég ügyes művész ahhoz, hogy a mi testünkben ezerszerte elmésebb gépezetet csináljon úgy, hogy csak néhány nagyon egyszerű folyadékot használ, amelyeket egyenesen úgy alkotott meg, hogy csak az általános természeti törvényekre legyen szükség ahhoz, hogy úgy keveredjenek, ahogy kell egy ilyen csodálatos okozat létrehozásához; de az is igaz, hogy ez nem következne be, ha nem Isten volna a természet alkotója. Úgy látom viszont, hogy a hatóokok módszere – amely valóban mélyebb, valahogyan közvetlenebb és *a priori*-meglehetősen nehéz, amikor a részletekhez érünk, és úgy vélem, hogy filozófusaink legtöbbször még elég messze vannak ettől. A célok módszere viszont könnyebb, és gyakran mégis alkalmas arra, hogy felfedezzünk fontos és hasznos igazságokat, amelyeket a másik, inkább fizikai jellegű úton még sokáig kellett volna keresnünk – figyelemre méltó példákat szolgáltathat erre az anatómia. Úgy vélem, Snellius is – aki elsőként fedezte fel a fénytörés szabályait – sokáig várhatott volna erre a felfedezésre, ha először azt akarta volna kikutatni, hogy hogyan jön létre a fény. Ő azonban szemlátomást azt a módszert követte, amelyet a régiek alkalmaztak a fényvisszaverődés-tanban, és amely valójában a célokat vizsgálta. Mert – miként Larisszai Heliódórosz egy kis értekezéséből és máshonnan is látható – a régiek akkor fedezték fel a beesési és a visszaverődési szög egyenlőségét, amikor azt a legkönnyebb utat keresték, amelyen egy fénysugár eljuthat egy adott pontból egy adott síkon történő visszaverődés által egy másik adott pontba (feltételezve, hogy a természetnek ez a szándéka). Ezt alkalmazta azután még ötletesebben a fénytörésre Snellius, utána pedig Fermat (bár anélkül, hogy tudott volna az előbbiről). Ha ugyanis a sugarak azt a szabályt követik, hogy ugyanazokban a közegekben a szögek szinuszainak aránya ugyanaz, ami egyben a közegek ellenállásainak az aránya is, akkor kiderül, hogy ez az a legkönnyebb vagy legalábbis legjobban meghatározott út, amelyen egy bizonyos közeg adott pontjából el lehet jutni egy másik közeg adott pontjába. És ugyanennek a tételnek az a bizonyítása, amelyet Descartes a hatóokok vizsgálatával akart elvégezni, meglehetősen távol áll attól, hogy ugyanilyen jó legyen. Legalábbis gyaníthatjuk, hogy ezen a módon sohasem ismerte volna föl, ha Hollandiában nem hallott volna valamit Snellius felfedezéséről.”

Úgy tűnik azonban, a newtoni felfogás közelebb állt a kor általános hangulatához, a kor emberéhez, és ezek hatására a kor tudósaihoz is – ez pedig biztosította Newton győzelmét a vetélytársak felett.

Ez a világkép – éppen a sikeresség miatt – elterjedt, mintegy két évszázadon keresztül általános szemléletmód volt a fizikában. Newton utódai tovább pontosítják az általa megadott fogalmakat, finomítják a matematikai apparátust, az elmélet gyakorlóterepévé változtatják a környezeti mozgásokat és a bolygórendszert. Hasonlóan járnak el a nem mechanikai és gravitációs jellegű problémák esetében, és nemcsak a fizikában, hanem a tudományos kutatás többi területén is.

A filozófiában Newton közvetlenül jelentős hatást gyakorolt szűk baráti körének egyik tagjára, John Locke-ra. Az angol filozófus az empirista iskola (Hobbes) követője, szemlélete inkább ismeretelméleti, mint természetfilozófiai jellegű. Ismereteink eredetét keresve tagadja a velünk született eszmék létezését.

„Tegyük fel tehát, hogy az elme, amint mi mondjuk, fehér lap, nincs rajta semmiféle jel, eszmék nélkül való; hogyan telik meg? Hogyan jut hozzá ahhoz az óriási tárházhoz, amelyet az ember szorgalmas és korlátatlan képzelete fest rá a maga szinte vég nélküli változatosságában? Honnan vette az észnek és a tudásnak mindezt az anyagát? Erre egyetlen szóval felelek: *tapasztalásból*, ezen alapul minden tudásunk, és végeredményben ebből is származik.”⁶⁸

A külső világ tapasztalásának forrása az érzékelés (a belsőé a reflexió). A dolgok tulajdonságainak hatására az érzékelés révén egyszerű eszmék jönnek létre bennünk. A tulajdonságok – Galilei, Descartes, Hobbes nyomán – kétfélék: elsődlegesek (amelyek a testektől elválaszthatatlanok, objektívek, mennyiségileg kifejezhetők, mint a kiterjedés, alak, áthatolhatatlanság, mozgás, szám stb.) és másodlagosak (amelyek az elsődlegeseken keresztül jönnek létre bennünk, szubjektívek, mint az íz, szag, szín, hang stb.). Az előbbieket létrehozta eszmék a tulajdonságok képmásai, az utóbbiak által létrehozottak azonban nem hasonlítanak létrehozóikra. Az elme ezekből az egyszerűekből aztán összetett eszméket (absztrakciókat, általános fogalmakat stb.) hoz létre, de ezek már távolabb vannak a valóságtól.

Locke ezzel egy jellegzetes angolszász gondolkodási vonalat indít el, amelynek következő képviselője a XVIII. században George Berkeley (1685–1753) püspök. Szerinte az elsődleges minőségek éppoly szubjektívek, mint a másodlagosak, azoktól egyébként sem észlelhetők különváltak. E szubjektív minőségek létezésének helye csak a tudatunk lehet, azon kívül nem léteznek dolgok. A tárgyak annyiban léteznek, amennyiben érzékeljük őket (*Esse est percipi.*). Általánosabb képzetek (pl. olyan háromszög, amely sem hegyes-, sem derék-, sem tompaszögű) pedig nem is létezhetnek.

A csoport talán legnagyobb hatású tagja a skót David Hume (1711–1776) volt. Ismereteink egyedüli forrása nála is az észlelés:

„... a gondolkodás minden anyaga külső vagy belső érzésből ered, csak ezek vegyítése és összekapcsolása tartozik az elme és az akarat tevékenységi körébe. Vagy hogy a filozófia nyelvén fejezzem ki magamat, minden eszménk, vagyis

⁶⁸ John Locke: *Értekezés az emberi értelemről* (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1964).

gyengébb képzetünk a benyomásainknak, vagyis az elevenebb képzeinknek másolata.”⁶⁹

De hogy az érzetek tudatunktól független anyagi tárgyaktól származnak, valamiféle közvetítő szerepet töltenek be vagy magából az elméből erednek – e kérdés megválaszolását illetően az angol filozófus igen szkeptikus.

„Nos, mivel szellemünknek semmi sem jelenik meg az észleleteken kívül, és mivel ideáink mindig valami olyanból származnak, ami korábban már jelen volt a szellemben, következésképpen lehetetlen eljutnunk odáig, hogy elképzeljük vagy kialakítsuk az ideáját olyasvalaminek, ami fajtája szerint különbözik az ideáktól és a benyomásoktól. Ha végsőkig feszített figyelemmel fordulunk a külső dolgok felé, ha képzelőerőnk az égitestekig vagy akár a világegyetem legvégső határáig hajszoljuk is, akkor sem tudunk kilépni önmagunkból egy pillanatra sem, és nem tudunk elképzelni semmiféle létezését e szűk körben megjelenő észleleteinken kívül. Ez képzelőerőnk világegyeteme, és csak olyan ideáink vannak, melyek ezen belül jönnek létre.”

A tárgyak és a képzetek közötti kapcsolatot sosem tapasztalhatjuk, ezért a probléma eldönthetetlen. Ennek megfelelően csak a tudatbeli folyamatokkal, az eszmetársításokkal érdemes foglalkozni. Ezek három típusa: a hasonlóság, az okság és az érintkezés. Az ok-okozatinak vélt kapcsolat azonban nem genetikusan vagy szükségszerűen, hanem csak időrendi lehet, megszokáson alapul. Igazából semmi (pl. egy természettörvény) sem bizonyítható, legfeljebb valószínűsíthető. Az ideális a teljes indukció lenne, de az lehetetlen. E szkepticizmus jelentős mértékben befolyásolta Immanuel Kant, majd a XX. század eleji tudományfilozófia gondolkodását.

A XVII. században keletkezett newtoni nézetek pl. Francois Voltaire (1694–1778) francia filozófus lelkes tevékenységének köszönhetően átkerültek a kontinensre és a XVIII. századi felvilágosodás természettudományos alapját képezték, de még később is meghatározó szerepet töltek be a tudományos fejlődésben. Minden kutatást ez a minta vezérel. Vegyük az adott anyagot (testet), a reá ható (esetleg csak feltételezett: pl. élet-) erőket és nézzük a beálló mozgást. Julien Lamettrie francia orvos és filozófus már nem lát minőségi különbséget a szervetlen létezők, a növények, az állatok és az ember között, „Az embergép” címmel ír könyvet.⁷⁰

„Az emberi test olyan gép, amely önmaga húzza fel rugóit: az örök mozgás eleven képe. A táplálékok helyreállítják azt, amit a láz feldúl. Nélkülük a lélek elszorvad, elvadul és erőtlően elhal. Gyertya, amely kialvásának pillanatában újra lángalobban. Ám táplálják a testet, öntsenek tartályaiba erős nedveket, éltető folyadékokat, s akkor a lélek is élni fog, büszke bátorsággal töltekezik, s a katona, akit a víz megfutamított, megvadul és a dobok zajára vidáman rohan a halálba. Ugyanígy a meleg víz serkenti a vért, a hideg megdermeszti.”

⁶⁹ David Hume: *Tanulmány az emberi értelemről* (Magyar Helikon, Budapest, 1973).

⁷⁰ Julien Lamettrie: *Az embergép* (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1968).

A mechanikai szemléletet filozófiai szinten legátfogóbban talán Paul-Henri Holbach német származású francia filozófus fejtette ki. Az ő változatában már Teremtő sincsen, csakis az anyag önmaga alkotja a világot, a természetet.

„A világegyetem, minden létezőnek ez a hatalmas foglalata, sehol másból nem áll, mint anyagból és mozgásból. ... Sokféle és végtelen sokféle összetételű anyag szünet nélkül különféle mozgást fogad be és mozgást kelt. ... Vagyis a természet, a szónak legáltalánosabb értelmében, nagy egész, mely a különféle anyagokból, ezeknek különféle kombinációjából és különféle mozgásából tevődik össze.

...

... a megfigyelések elemzése meggyőző arról, hogy a természetben minden állandó mozgásban van, hogy egyetlen részecskéje sincs valójában nyugalomban, hogy a természet az, ami mindenben működik és megszűnnék természet lenni, ha nem mozogna, vagyis mozgás nélkül semmi sem keletkezhet, semmi sem maradhat fenn, semmi sem működhet. Tehát a természet fogalma szükségképpen magában foglalja a mozgás fogalmát. De – kérdezhetné valaki – honnan nyerte a természet a maga mozgását? Önön magától, feleljük erre, mert a természet az a nagy mindenség, amin kívül nyilván semmi sem létezhet.

Ha előítéletek nélkül vizsgálták volna a természetet, régóta rájöhettek volna, hogy az anyag saját erői által hat és mozgásához nincs szükség semmiféle külső mozgatóra. ... az anyag mindig létezett, ... saját lényegénél fogva mozog, ... a természet minden jelensége a benne foglalt különféle anyagok mozgásából származik és ezért a természet, mint a fénymadár, hamuiból folytonosan új életre támad.”⁷¹

Mi ez az anyag?

„... hozzánk viszonyítva anyag mindaz, ami valamely módon érzékszerveinkre hat, ... Minden anyag közös tulajdonsága a kiterjedés, oszthatóság, áthatolhatatlanság, alakíthatóság, mozgékonyosság, vagyis az egy tömegben való mozgásképeség.

...

Létezni annyi, mint meghatározott lényeknek megfelelő módon mozogni.”

Ez a fizikai tulajdonságokkal rendelkező anyag tökéletesen meghatározott módon végzi mechanikai mozgását.

„A heves szél által felkavart porfelhőben – bármennyire kaotikusnak látjuk – avagy az ellentétes szelek félelmetes vihara által keltett szökőárban nincs egyetlen porszem vagy vízmolekula, melynek a helyzete *véletlen* volna, amely ne elégséges ok hatására foglalná el a helyét és amely ne szigorúan megszabott módon viselkednék. Egy geometer, aki pontosan ismerné a fenti két esetben ható különböző erőket és a mozgó molekulák tulajdonságait, ki tudná mutatni, hogy az

⁷¹ Holbach: *A természet rendszere* (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1978).

adott okok alapján minden molekulának pontosan úgy kell viselkednie és nem viselkedhet másként, mint ahogy valóban viselkedik.”

Az emberi tudat a vázolt tulajdonságokkal rendelkező anyagi világ szerves része.

„Az emberek azért homályosították el a mozgásaik rejtett hajtóelvéről alkotott eszméiket, mert nem a tapasztalatra építettek, és nem hallgattak a józan észre. Ha megszabadítva magunkat előítéleteinktől, vizsgálat alá akarjuk venni lelkünket, vagyis a bennünk működő hajtóerőt, akkor meg fogunk győződni arról, hogy a lélek része a testnek, hogy csak elvonás által különíthető el a testtől: nem más, mint maga a test, bizonyos funkciói és tulajdonságai szerint tekintve, melyekre a természet és sajátos alkata képesítik. Látni fogjuk, hogy ez a lélek kénytelen ugyanazokat a mozgásokat átélni, mint a test: vele együtt születik és fejlődik ...”

Sőt még a társadalmi mozgások is – fatalista – mechanikai magyarázatot nyernek:

„Ha hatásuk nyomán ítéljük meg az okokat, akkor nincsenek kis okok a világmindenségben. A természetben, ahol minden összefonódik, ahol minden hat és visszahat, ahol minden mozog és változik, vegyül és szétbomlik, alakul és elpusztul, nincs egyetlen atom, amely ne játszanék fontos és szükségszerű szerepet, ne váltana ki csodálatos hatásokat. ... Sok keserűség egy fanatikus epéjében, túlságosan felhevült vér egy hódító szívében, nehéz emésztés egy uralkodó gyomrában, egy asszony elméjén átsuhanó szerelmi szeszély: elégséges okok, hogy háborúkat kezdessenek el, hogy az emberek millióit küldessék vágóhídra, védőfalakat döntessenek le, városokat tétessenek hamuvá, országokat döntessenek gyászba és nyomorba, éhséget és járványokat idézzenek elő, századokra kiható nyomorúságot és pusztulást terjesszenek el a Föld felszínén.”

A kor tudósai tehát mindent mechanikai szerkezetként fogtak fel, mindenre közvetlen mechanikai magyarázatot kívántak adni. E felfogás lehet, hogy ma túlzónak tűnik, de feltétlenül megvoltak a maga előnyei. Egyrészt e szemléletmód konkrét eredményekkel járhatott a tudományokban (pl. elektrosztatika), másrészt általában is biztatást jelentett a kutatások számára, hiszen ez a nézőpont alapvetően optimista a megismerés lehetőségét illetően, ugyanis szerinte minden leírható és megérthető.

A matematikai modellalkotásnak az a módszere, ami a *Principiában* megnyilvánul, szinte örök ideál maradt, sokszor még ma is ezt a követelményt támasztják egy a tudomány rangra igényt tartó ismeretrendszerrel szemben. E módszer lényege, hogy először viszonylag egyszerű létezőket és feltételeket veszünk, ezekhez megadunk egy matematikai modellt vagy technikát. A számítások eredményeit összevetjük a megfigyelési adatokkal, eltérés esetén módosítjuk a létezők tulajdonságait és a feltételeket, majd az eljárást folytatjuk egészen addig, míg kielégítő pontosságot nem kapunk.

Newton filozófiai hatása sem korlátozható az angol és francia nyelvterületre, hanem kimutatható természetesen a német vagy más filozófiai hagyományokban is. Hétköznapi szemléletünk, a természettel kapcsolatos mindennapi álláspontjaink pedig a térről, az időről, az erőkről, a mozgásról mai napig megfelel a mechanikai felfogásnak. Ez a szemlélet, amelyet a

közvetlen közelünkben lévő tárgyak, események alátámasztanak, amelyet felnövekvőben legkönnyebben elsajátítunk.

E) A biológiai ismeretek a XVII. században

Kiss János

A XVII. században megváltozott Európa politikai, gazdasági és tudományos állapota az előző évszázadokhoz képest. Itália több évszázadra kiterjedő szellemi vezető hatalma leáldozott, a Németalföld (Hollandia) és Anglia került az élre, majd később Franciaország, gazdasági, politikai és szellemi vonatkozásokban egyaránt. A gyarmatokon zajló gazdálkodással, a manufaktúrális jellegű iparosodással és az egyre gyorsabban fejlődő kereskedelemmel párhuzamosan haladt előre a polgárosodás folyamata Európa nyugati felén. Mindennek köszönhetően az egyház szellemi hatalma is egyre jobban csökkent, helyébe a tőke fejlődő uralma készülődött. Különösen igaz volt ez Hollandiában, ahol a növekvő jómód viszonylagosan növekvő liberalizmussal párosult. Angliában a királyi hatalom és a parlament hosszú harcát követően 1688-ban végül is megszűnt a királyi egyeduralom. Franciaországban azonban a hugenották mozgalmainak szétverése és a parasztok felkeléseinek letörése után megszilárdult az abszolút monarchia. Colbert merkantilista pénzügyi irányítása lehetővé tette a kedvező gazdasági helyzet kialakulását, az ipar, a kereskedelem és a hajózás fejlődését, megerősítette a gyarmatokat, javította a közlekedési viszonyokat, de mégsem tudta eltüntetni a mély szakadékot a Napkirály pazarló udvara és a nép nem túl jó helyzete között. Az egyre növekvő erkölcsi, majd szellemi ellenállás végül a következő században a felvilágosodáshoz, aztán a polgári forradalomhoz vezetett itt is.

A szellemi élet is követte ezeket a változásokat. Bár még javában dolgozott az inkvizíció, folytak a boszorkányperek, divatos volt a csillagjósolás, fejlett volt az alkimista aranycsinálás, körülvéve misztikus tanokkal, mégis lassan-lassan kezdett kibontakozni a modern tudományos gondolkodás is. Jól illusztrálja a változást Giordano Bruno és az elkövetkezendő század tudósainak különbsége: a XVI. században élt Giordano Bruno mindennel szemben lázadó és képzeletdús zseni volt, aki nagyon sok dolgot megsejtett, de tudni alig tudott valamit; a XVII. században viszont a tudósok – a mindennapi élet szükségleteinek megfelelően – sok mindent kipróbáltak, mérlegeltek, rendszereztek, távcsővel és mikroszkóppal felfedeztek, *kísérlettel* igazoltak vagy legalábbis próbáltak igazolni elképzeléseket, matematikailag bizonyítottak, a kétkedéseiket is új ismeretek nyerésének szolgálatába állították – azaz ekkor kezdett megbízható alapra helyeződni a tudományos gondolkodás. Ez a megbízható alap pedig egyrészt az alkímia méhében kibontakozó kémiai jellegű gondolkodás volt, de emellett egyre erőteljesebben bontakozott ki a *mechanikai világszemlélet*, aminek fejlesztésén egymástól függetlenül dolgozó, de egymással már kapcsolatra lépő tudósok hada tevékenykedett, és amelyet a század vége felé Newton munkássága koronázott meg. A század tehát a mechanika százada, de a barokk százada is.

A biológiában is – mint minden természettudományban – kezdetben csak az ismeretek felgyülemelését és alkalmazását figyelhetjük meg, majd megjelent a hipotézis- és elméletalkotás igénye; ám ezek (elsősorban kísérletes) igazolására csak a XVII. századtól került sor; elméleti rendszerek kialakulásának csak a XIX. századtól lehetünk tanúi. A

XVII. század a természetrajz kora, amikor már voltak igazolt ismeretek, de még alig vagy nem álltak össze rendszerekké (XVII. századtól a XIX. század közepéig).

A XVII. századeleje négy szempontból is fontos a biológia (és általában a természettudományok) fejlődése számára: 1. Galilei munkásságával megkezdődött a *tudományos kísérletezés* kora. 2. Francis Bacon megfogalmazta (1605 és 1620) a század tudományos programját: a kísérletezés elméletét, a megtervezett tapasztalást, amiből indukcióval fel lehet építeni a nagy ismeretrendszereket, majd René Descartes filozófiája a *racionalizmust* tűzte ki célul (1620–37) és racionalizmusát *matematikai levezetésekkel* a természeti, köztük biológiai jelenségeken próbálta ki, mint a látás, az életműködések és a lélek, a szív és a keringés funkciói (1644 és posztumusz műve, 1662). 3. A századfordulón többek között a németalföldi Janssen-testvérek feltalálták a *mikroszkópot*, amit aztán folyamatosan tökéletesítettek és természetbúvárok garmadája használta fel új világok feltárására. 4. Létrehozták az első *tudományos társaságokat* az új tudományos elméletek gondolati kipróbálására, a kutatók eszmecseréjének elősegítésére.

A XVII. század nagy jelentőségű tette volt, hogy Európában *akadémiák* és *tudós társaságok* jöttek létre. Ezek akkor még kevés érdeklődő ember csoportosulását jelentették; ők megvitatták egymással a számukra érdekes témákat. Némelyik tudós társaságot hercegek patronálták vagy a társaság gazdag emberei, de az egyedüli tartós életben tartó erő a tagok tudományos érdeklődése volt. Az akadémiák lehetővé tették a gondolatok szabad kifejezését, ami igen jelentősen járult hozzá a tudományos gondolkodás fejlődéséhez. 1603-ban alapították az Accademia dei Lincei (Hiúzok Akadémiáját) Rómában; Galilei ennek a társaságnak készítette el teleszkópját és mikroszkópját (a „mikroszkóp” nevet egy másik tag, a rovarász Johannes Faber adta az eszköznek). Ezt követte (1657) a rövid életű Accademia del Cimento (Kísérleti Akadémia) Firenzében, amelyet Galilei tisztelői hoztak létre. Fontosabb európai akadémiák: a Johann Lorenz Bausch schweinfurti városi főorvos és kollégái alapította Academia Naturae Curiosorum (Német Akadémia, 1652), a Richelieu alapította (1635) Académie Française (Francia Akadémia; inkább irodalmi célzattal), majd a Colbert által életrehívott Académie des Sciences (Tudományos Akadémia, alapítva 1666-ban), és több kisebb akadémia Angliában, amelyek 1662-ban királyi kartával egyesültek a londoni Royal Society-ban (Királyi Társaságban). A berlini Tudományos Akadémiát 1700-ban tudta létrehozni Gottfried Wilhelm Leibniz. Ugyanakkor, amikor az akadémiák, természettudományos gyűjtemények és múzeumok is keletkeztek sokfelé: Koppenhágában, Veronában, Hamburgban, Párizsban, Rómában és Londonban. A tudományos viták mellett a társaságok létrejöttének másik jelentősége az volt, hogy megjelentek az első *tudományos publikációk*. A korai akadémiák több folyóiratot is kezdeményeztek, az elsőt Franciaországban publikálták 1665-ben *Journal des Scavants* címmel. Három hónappal később a londoni Royal Society is megjelentette a *Philosophical Transactions* című folyóiratát. Kezdetben ezek a befejezett vagy éppen végzett tudományos munkák szemlélését szolgálták, de később a hangsúly áttolódott az originális kutatásokról szóló beszámolókra (ezzel sikerült magas tudományos minőségi szintet fenntartani). Hamarosan megjelentek a speciális tudományos folyóiratok is.

1. A humorális élettan és kórtan bukása: a felemelkedő iatrokémiai és a iatrofizikai szemlélet

A fejlődő alkímiából kibontakozó *kémia* és a fizikai mérések nyomán létrejövő mechanikai szemlélet új elképzeléseket szült. Ezek az elgondolások bizonyos korlátok között alkalmasak voltak kevésbé bonyolult természeti jelenségek megvilágítására és valamilyen dedukcióval való értelmezésére. A biológiai és orvosi vonatkozásokban ilyen felfogások közé tartozott a

iatrokémia és a *iatrofizika* (vagy *iatromechanika*) („iatrosz” görögül az orvost jelenti). A XVII. század biológiai és orvosi szemléletében ezek rázkódtatták meg először az antik világból Galénosz közvetítésével eredeztethető nedvek tanát (a humorális fiziológiát és humorális kórtant); ezek készítették elő az élőkről és az emberi testről kimunkált új természettudományos felfogást; de a gyakorlati orvoslásra kezdetben még alig voltak hatással.

Az alkímiában gyökerező *iatrokémia* (vagy *kemiátria*) minden életjelenséget csakis kémiai szempontból vélt meghatározhatónak és kémiailag befolyásolhatónak; e szemlélet szerint az életfolyamatok lényege kémiai történés. Ezért a *iatrokémiai* szemlélet még fontos életfunkciókat tulajdonított a testnedveknek. A *iatrokémiai* orvosi (főleg gyógyászati) elképzelések Paracelsus munkásságára nyúlnak vissza. Az 1590-es években Johannes Huser (1545 körül–1600 körül) kiadta Paracelsus orvostudományi írásait. Tanításai ettől kezdve fokozatosan terjedtek. Az egész század nagy orvosi vitája volt a galenisták és a paracelzisták közötti ún. „antimonháború”, ami végül is a fémek gyógyászati alkalmazásával volt összefüggésben. A *kemiátria* első fő műve Oswald Croll orvos és diplomata „*Basilica chymicá*”-ja, ami 1609-ben jelent meg. Ugyanebben az évben Johann Hartmann (1568–1627) német matematikus és orvos a marburgi egyetemen megkapta az orvosi kémia professzora címét (amivel a *iatrokémia* elnyerte az egyetemi elismerést). A *kemiátriai* elképzelés azonban csak átmeneti szakaszt jelentett a modern kémia és a farmakológia felé vezető úton, bár a századfordulón Georg Ernst Stahl (1660–1734) még ennek szellemében alkotta meg a XVIII. században majd elbukó „flogiszton”-elméletét.

A *iatrofizika* (vagy *iatromechanika*) viszont – az általános mechanikai világfelfogásnak megfelelően – az élet minden egészséges vagy kóros megnyilvánulását mechanikai jelenségként értelmezte, amit meg is próbált magyarázni a fizika és a matematika törvényszerűségeivel. A *iatrofizika* elméleti alapjai az ókori atomizmusra és inkább a test szilárd összetevőinek vizsgálatára vezethetők vissza. Ezt a hozzáállást elevenítették fel a XVII. század neoatomista tudósai, köztük Pierre Gassendi (1592–1655) filozófus és – kissé megváltozott alakban – René Descartes (1596–1650). Eszerint már nem a testnedvek összetétele, élettani minőségei vagy a *iatrokémiai* potenciái, a harmóniái a döntőek, hanem pl. a hidrosztatikai törvényszerűségek, az erek pórusainak és a vér részecskéinek együttes működése, az áramlások, a nyomásviszonyok, amelyek magyarázatot adnak pl. az erekben zajló történésekre.

Főleg a *iatrofizikai* szemlélet túlhajtásait szokták úgy értelmezni, hogy még az élőlényeket is gépszerűen működő mechanikus masináknak fogták fel, ami ugyan igaz, de meg kell jegyezni, hogy a mechanikai világgépnek ez csak az egyik – talán nem is a legfontosabb – szempontja. Talán sokkal fontosabb a másik – és különösen a biológia vonatkozásában jelentős – oldala: ez a mechanikai világszemlélet fedezte fel igazán a *determinizmust*. Addig csak misztikus hatások voltak, esetleg isteni beavatkozások, természettörvénynek mondott összefüggések, de az okság igazibb, pszichikailag is kielégítőbb magyarázatára a mechanikai világszemlélet talált rá.

A XVII. század második felének érdekes *iatrokémikusa* volt Johan Baptist van Helmont (1579–1644) flamand orvos, kémikus és természetbölcselő. Svájcban, Itáliában, Franciaországban és Angliában tett nagy utazásai után 1605-től Brüsszel közelében orvosi gyakorlatot folytatott. 1609-től 1616-ig visszavonult a Brüsszel melletti Vilvoorde-ba, hogy teljesen a vizsgálódásainak szentelhesse magát. 1634-ben egy évre egyházi őrizetbe került, mert az inkvizíciónál azzal vádolták meg, hogy tagadja a vallás gyógyító erejét, és Paracelsusnak („vagyis magának az ördögnek”) a babonáiban hisz. Viszont elvetette Paracelsus szignatúratánát, a mikrokozmosz makrokozmosznak való megfelelését a három paracelsusi alapp princípiummal („kén”, „só” és „higany”) egyetemben. Szerinte az őselem a víz. Ő alkotta meg a „gáz” fogalmát (a görög „kháosz”-

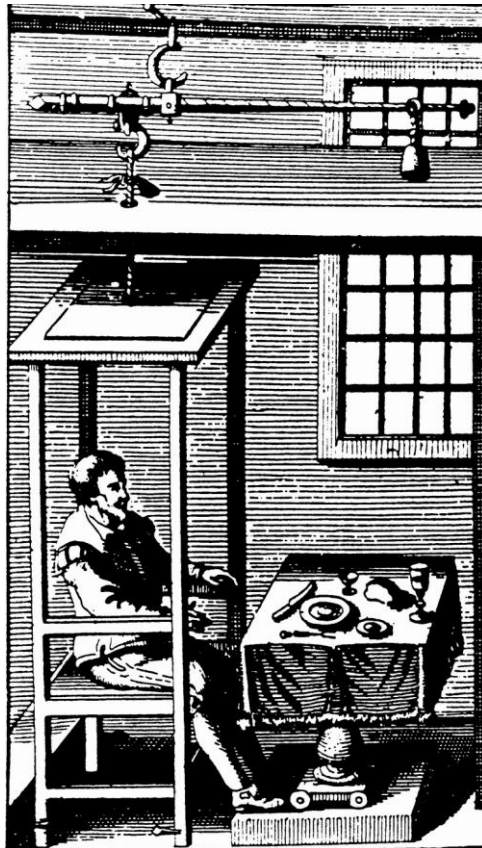
ból). A vízgőztől megkülönböztette a gázt, illetve a levegőt. A természetben levő testek változásait és mozgásait láthatatlan szellemi erők irányítják; a szellem („spiritus”), a lélek és a gáz egymást átfedő fogalmak. Nála is (akárcsak Paracelsusnál) az „archeus” a szervezetet képező, fenntartó és irányító központi erő; ez felelős minden – a normális és a zavart – életfolyamatért. A központi „archeus influus” a *gyomorban* található. Innen irányítja az *emésztést* „fermentáció” útján. Minden egyes szervben található egy „archeus insitus”, ami a gyomri archeus hatása alatt áll. Az archeusok benne lakoznak az anyagban, nem tudnak elszakadni tőle. A *betegségek* oka is az archeusnál kezdődik. A megbetegítő okot az „idea morbosa” hívja életre, ami önálló magként vagy parazitaként telepszik bele az archeusba. A gyógyulás lényege az „idea morbosá”-nak az archeusból való kiűzetése, az archeus megtisztítása. A leghatásosabb gyógyszerek a gyomorbeli archeusnál hatnak. Ilyenek a kémiai szerek, különösképpen a sók. A paracelsusi hagyományhoz híven a gyógyításra számos „arkánium”-ot ajánlott. Az volt a célja, hogy megcáfolja az ókori (galénoszi) nedvtant, és az élő szervezet számára alapvető kémiai jellegű *anyagcsere-folyamatok* jelentőségét hirdesse. Az életfolyamatokat kémiai folyamatoknak tartotta, amelyeket „gáz alakú erjesztő anyagok” hatására vezetett vissza. (A keresztény és misztikus vonásokkal elegyített iatrokémiaát szembehelyezte a iatromechanikával.) Bebizonyította, hogy a *növények táplálkozásában* a víznek és a *levegőnek* fontos szerepe van. Egy cserépbe ültetett fűzfát nevelgetett. Megállapította, hogy a növekvő fűzfa az anyagát zömmel a levegőből szerzi be (mérte az öntözött fűzfa tömeggyarapodását és a rálocsolt vizet, számításba vette a víz elpárolgását, és az adatokból következtette, hogy a növényi anyag nagy része a levegőből származik).

A század másik nagy iatrokémikusa volt Franz de le Boë (vagy Franciscus Sylvius; 1614–1672) holland orvos, anatómus és botanikus, leideni professzor. Tudományos felfogása a galénoszi nedvtan újabb változata volt csupán, van Helmont kemiátriájának hatásával együtt, de annak miszticizmusa nélkül. Ebben alapvető szerepet játszott a *pezségés*, az *erjedés*, a sav és a lúg közötti kémiai reakció. A fiziológiai folyamatokat kémiai reakciókkal magyarázta. Különösen sokat foglalkozott a testnedvek (nyál, epe, hasnyál, vér) kémiai összetételével és folyamataival. Úgy vélte, hogy a hasnyálmirigy a nyálmirigyekhez hasonlóan egy lúgos váladékot termel, amit a nyál és az epe savassága ellensúlyoz. Az egyensúlyhoz szükség van a test megfelelő hőmérsékletére, amit a szív tart fenn (ez a hő a „calor innatus”), valamint az agyvelőből az idegeken át kiáramló és a nyirokereken át visszatérő „életszellem” (spiritusz). Szerinte pl. az *állati „spiritusz”* – ami az idegrendszer aktivitásához, de magukhoz az életfolyamatokhoz is szükséges lényegi alkotó – a legegyszerűbb és a legtisztább testnedv, összehasonlítható az alkoholos spiritusszal. Az *idegi betegségek* az ő véleménye szerint az állati spiritusz zavarai, amiket az illékony savas spirituszok okoznak. Kórtana is nagyon leegyszerűsítette a *betegségek* megértését: maga a betegség a savasság és a lúgosság egyensúlyának megbomlása: vagy savanyúbb a vér a kelleténél, vagy lúgosabb. A gyógyításnak ezt az egyensúlyt kell visszaállítania. Számos új kémiai gyógyszert fejlesztett ki. Sokféle kórformát és tünetet helyesebben értelmezett, mint a korábbiak; ezek között a legjelentősebb a tuberkulumok leírása a *tüdőbajban*. Leírta a Leidenben 1667-től pusztító járványokat. Tanítványai közé tartozott Rénier de Graaf is.

Már a XVIII. században teljesedett ki Georg Ernst Stahl (1660–1734) német kémikus és vitalista orvos kemiátriái nézetrendszere és vitalizmusa. A *flogisztion-elmélete* szerint minden anyag égésekor egy „flogisztion”-nak nevezett anyag szabadul fel. A mechanikus felfogás ellentétéként született *animizmusa* szerint a *lélek* tartja egyben a testet. Animisztikus tanításában azt javasolta, hogy minden elméleti és fizikai történés a *lélek* szigorú szabályozása alatt áll, vagyis a *betegség* voltaképpen a lélek védekezése a megbetegítő tényezőkkel szemben. Tehát szerinte a

betegségeknel is elsősorban a lélekkel kell törődni, nem az anatómiával és az élettannal, a szervezet és a szervek lélkét kell ismerni és gyógyítani. A gyógyászatban ezt a vitalizmust honosította meg. (A nagyon tetszetős vitalista elméletet 1694-től kezdte tanítani a hallei egyetemen. Követői közé tartozott a montpellier-i iskola, a francia Barthez, Bordeu és Bichat, a német Wolff, Blumenbach, Treviranus és a XIX. században Johannes Müller.)

A mechanika biológiai alkalmazását előmozdította több találmány is. Fontos találmány volt az ugyancsak a századfordulón bevezetett *hőmérő*, amit az itáliai orvosok használtak először. Az itáliai egyetemeken először alkalmazták rendszeresen a *mikroszkópot* morfológiai megfigyelésekhez, bár a szélesebb körű használatára csak később került sor.



Santorio az anyagcserét vizsgáló mérlegben, Ars de statica medicina (Velece, 1614) című könyvéből

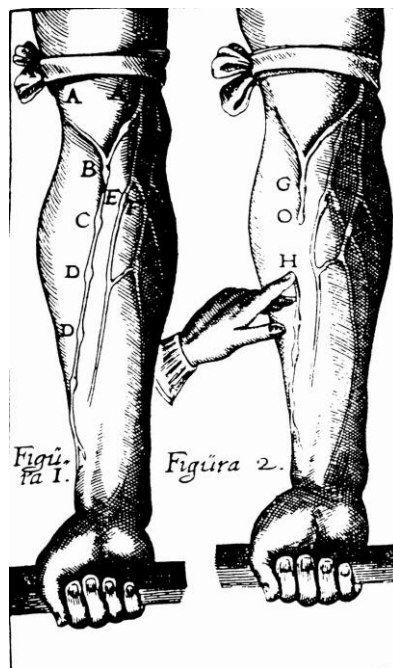
A hőmérő és a tömegmérés új módszereivel akarta az ember napi anyagforgalmát feltárni az 1610-es években Santorio Santorio (1561–1636) itáliai orvos; Galilei egyik tanítványa. 1602-ben megjelent művében még a nedvtant vallotta, de már mechanisztikus magyarázatokkal szolgált, és javasolt *fiziológiai méréseket*. Ő volt az első orvos, aki elismert módon azzal kísérletezett, hogy megmérje az emberi test orvosi szempontból fontos adatait és folyamatait. Óriási mérlegen ülve táplálkozott és ürített, minden változást mért hosszú éveken át tartó kísérletsorozatban. Így bizonyította, hogy a test a bőrön és a tüdőn keresztül történő „észrevétlen kipárologtatás” („*perspiratio insensibilis*”) folytán még további anyagokat ad le a környezetének, ami naponta kb. 1,25 kg, és ez több annál, mint amit a látható kiválasztott anyagok együttevve kitesznek. Ezzel a kvantitatív méréssel elindította a *iatromechanikát* (vagy *iatrofizikát*), vagyis az életfolyamatok mechanisztikus szemléletét, azt, hogy az októl és az okozattól függő fizikai folyamatok alkalmazhatók az életfolyamatok leírására is. Készített még hőmérőt, ami a víz kiterjedésén

alapult (1625), pulzsmérőt („pulsilogium”), légnedvességmérőt is. A hippokratészi–galénoszi felfogáshoz (a testnedvek harmóniája) híven úgy véli, hogy a táplálékfelvétel és a kiválasztódás egyensúlyban vannak. Avicenna fiziológiájához fűzött kommentárjában (1625) fiziológiai mérőeszközök szerkezeti tervének egész sorát adta közre. A kísérleteivel a iatrofizika útjait egyengette. Descartes-ot megelőzve már óraműhöz hasonlította az emberi szervezetet.

A iatromechanikai szemlélet korai képviselője volt W. Harvey is, aki a nagy vérkörben zajló vérmozgást mechanikai-matematikai módon próbálta értelmezni. Később ez a gondolkodás R. Descartes filozófus és természetkutató munkásságában érte el egyik csúcsát: szerinte az állatok működése mechanikai gépszerű, de az embernek a mechanikai módon működő testen kívül lelke is van (ezt majd csak a következő században fogja túlhaladni a leegyszerűsítésben a francia Lamettrie).

2. A vér mozgása a vérerekben

Vesalius és más itáliai orvosok tanítványa volt William Harvey (1578–1657) angol orvos, anatómus, fiziológus, természettudós. 1598-ban Padovában vette fel az orvosi stúdiumokat. Tanárai között volt Fabrizio Geronimo ab Aquapendente (akivel bensőséges barátságot is kötött). A vénabillentyűkön végzett saját vizsgálataival felkeltette Harvey érdeklődését a *vérerek* iránt. Harvey a tanulmányait később Cambridge-ben folytatta. Anatómiai előadásokat, boncolásokat és anatómiai demonstrációkat tartott 1615-től a cambridge-i egyetemen, valamint a londoni St. Bartholomew Kórház Kollégiumában; ekkor lett az anatómia és a fiziológia professzora.



Harvey bizonyítása a vérkeringésre

Titokban végzett kísérletei nyomán 1616-ban mondta ki először az előadásaiában, hogy a *vér zárt rendszerben kering* a testben. Az ezt követő tizenkét évet e tan igazolásának szentelte. Ennek érdekében nagyon alaposan járt el: igen sok állatot boncolt, az erekben követte a vér útját, elzárta és megnyitotta a vénákat és az artériákat, megfigyelte az elzárást követő duzzadást vagy lelapulást, megbecsülte a vér térfogati áramlását. Anatómiai és fizikai kísérleteivel bizonyította be, hogy a véráramlás nem történhet úgy, ahogy azt Galénosz állította, hanem a verőerekben

ugyanaz a vér mozog, mint a visszerekben. Úgy vélte, és le is írta 1628-ban Frankfurtban kiadott *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus* című értekezésében, hogy a vér körben forog, azaz kering. Már a kis, 78 oldalas brosúra előszavában utalt arra, hogy mindaz, amit eddig a szívről és a vér mozgásáról írtak, nem tűnik kielégítőnek. Vitatta, hogy a vér hűtő szerepű lenne, és inkább a táplási funkcióját emelte ki. A szívből kifolyó vér mennyiségét megmérte, és arra következtetett, hogy a máj nem tud folyamatosan „főzni” ekkora mennyiséget. Bebizonyította, hogy a vér a szívbe a vénákon át tér vissza, ezért a szövetekben valamilyen összeköttetést tételezett fel az artériák és a vénák között. A galénoszi titokzatos „spirituszt” – ami az artériás és a vénás vérben különböző volna – a vérhez tartozó sajátosságnak tartotta (mint a „meleget a meleg vízben”). Tagadta a szívkamrák falában állítólag létező pórusok meglétét. Végül megvilágította a saját módszerét: élveboncolásoknak, autopsziáknak és méréseknek kell a valóságot feltárni. Tizenhét fejezeten keresztül fejtette ki a saját nézeteit a vérkeringésről, mindig először a látottakra alapozva, a mérési eredményeket számszerűleg is közölve, és végül a következtetést éles logikával levonva. Az induktív és a deduktív módszert mindig összekapcsolta (ez akkor a tudományos gondolkodás új minősége volt). Az ötödik fejezetben foglalta össze a szívmozgásról végzett megfigyeléseinek eredményeit. Kimutatta, hogy a szív passzívan tágul ki és aktívan húzódik össze. A jobb kamra egy „vena arteriosába” hajtja a vért, de valójában ez minden részében és működésében artéria. A vér a bal kamrából az aortába, onnan az artériákon át az egész testbe jut. Ezután következnek a vizsgálatok, hogy hogyan kerül a vér az üres vénából az artériákba, illetve a jobb szívkamrából a balba. Számos bizonyítékból arra következtetett, hogy a tüdön keresztüli út lehetséges és valóságos is. Egy meghatározott idő alatt a szívverés által kilökött vérmennyiség megméréseiből arra következtet, hogy lehetetlenség egy nap vagy akár csak egyetlen óra hatalmas vérmennyiségét a szívnek kipréselnie vagy kifőznie. (Az artériák és a vénák közötti hajszálereket sohasem látta, de még a létezésükről sem tudott; mikroszkópos megfigyelést ekkor még nem végezhetett.) Azt gyanította, hogy a vér az artériákból a vénákba a szöveteken át diffundál. A mérgek, betegségek és orvosságok elterjedését a testben a véráramlásnak tulajdonította. A *vérkeringés felfedezésével* kapcsolatos munkássága jelentette az *új kori kísérletes kvantitatív élettan* nyitányát, mert a vérkeringés feltételezése először nyújtott a szervezet egyik fontos életműködésére racionális (fizikai) magyarázatot.

Első kritikusa a saját tanítványa, James Primrose Londonból, aki 1630-ban elleníratot is közzétett. Később, 1648-ban ifjabb Jean Riolan párizsi anatómus próbálta menteni a galénoszi tanokat, azt állítva, hogy a test perifériája nincs bekapcsolva a vérkeringésbe; kifogásolta, hogy Harvey nem fordított kellő figyelmet az „életszellemre”. 1649-ben Harvey – jöllehet, akkor már mással foglalkozott – két levélben válaszolt ifj. Riolannak. Mások viszont támogatták elméletét, mint pl. Robert Fludd és Francis Glisson. Főképpen a németalföldi Jan de Wale (1604–1649) bizonyította állatkísérleteivel hatékonyan a vérkeringés létezését. Először ugyan nem hitt a vérkeringés tanában, de Leidenben F. de le Boët hallgatva és a kísérleteit látva maga is elvégezte azokat. Ekkor vált meggyőződéses Harvey-hívővé. Állatkísérleteivel erőteljes bizonyítékokat szolgáltatott a *vérkeringés* mellett. 1640-ben két levelet írt Th. Bartholinhoz a *nyirok és a vér mozgásáról*. (Ezek a levelek hozták annyira dühbe Riolant, hogy elszánta magát a Harvey-ellenes támadásra.) Az angol építész, csillagász és orvos Christopher Wren (1632–1723) 1653-ban kezdeményezte az *intravénás injekciót*: egy élő kutya ereibe nagy mennyiségű bort és sört fecskendezett, amitől a kutya az erős részegség jeleit mutatta. (Ezzel részben ellenőrizte Harvey vérkeringési tanának érvényességét is.) Együtt dolgozott Thomas Willis-szel (1664-es könyvének volt illusztrátora).

Amikor aztán Marcello Malpighi 1661-ben felfedezte a hajszálereket, Harvey nagy felfedezése a XVII. század vége felé teljesen elfogadottá vált.

3. A szervezet descartes-i kettéosztása: a iatrofizikailag magyarázható test és a kiterjedés nélküli lélek

René Descartes (1596–1650) francia filozófus és természettudós 1629-től húsz éven át Hollandiában élt. 1632-ben megismerkedett Christiaan Huygens-szal és elkezdett intenzíven foglalkozni természettudományokkal: optikával, csillagászáttal, meteorológiával, kémiával és orvostudománnyal; ekkor alkotta és publikálta fő műveit is. Ebben az időben kezdte írni a *Le monde ou Traité de la lumière* (A világ, avagy Tanulmány a fényről) című munkáját, aminek zárófejezete az emberről szóló tanulmány. 1633-ban azonban – Galilei elítélése nyomán – félretette ezt (nehogy hasonló sorsra jusson, hiszen benne ő is a kopernikuszi tanok alapján írt; majd csak a halála után adták ki). 1637-ben jelentette meg Leidenben a *Discours de la méthode* (Értekezés a módszerről) című munkáját, amelyhez három külön értekezést is csatolt a módszer alkalmazásának bemutatására: a *La dioptrique*-ot (amelyben optikai kérdéseket tárgyalt; többek között ebben mutatta ki, hogy a szem alkalmazkodását a szemlencse fénytörő képességének változása hozza létre), a *Météores*-t (amelyben többféle fizikai kérdést elemzett) és a *La géométrie*-t (amelyben az új elemző módszerrel, a koordináta-geometriával, több fontos matematikai problémát megoldott). A negyedik részben isten és a lélek fogalmát kivonatossan fejtegette. Descartes a rendszerének fizikai alapelemeit részletesebben két művében, a *Principia philosophiae*-ban (A bölcelet alapelve; 1644) és a *De Homine* (Az emberről; posztumusz kiadott munka, 1662) fejtette ki.

Szerinte az állatok teste „res extensa”, azaz kiterjedéssel bíró anyag, valójában egy mechanikai szerkezettel modellezhető. A különféle élettani folyamatokat e modell segítségével a részeinek automatikus mozgására vagy kémiai kölcsönhatásokra vezette vissza. A testet isten alkotta, ám azóta a saját mechanikájának megfelelően magától működik. A mozgás első oka a feltételezése szerint a szívben rejlő meleg. Ez a velük született hő a vérből jön létre, amit a test vénás erei szállítanak a szívbe. A vénákba azonban már előbb bejutnak azok a tápanyagok, amelyek a gyomorban és a bélcsatornában képződtek. A vérben levő meleget és a táplálékot a szívből az artériák juttatják el a test minden részébe. A leginkább mozgékony vagy illékony vérrészecskékből pórúszkák keletkeznek bizonyos levegőszerű részecskékként, amelyek a „spiritus animalis”-t jelentik. Ez betölti az agyat, és hidraulikus elvek szerint áramlik az idegeken. Pl. a fény sugarak a szemlencsén megtörve a renehártyára esnek, ahol kicsinyített, fordított állású kép keletkezik a nézett tárgyról. Az érzőidegeken mozgó „spiritusok” révén válik lehetővé az általános érzékelés, a képzelet és az emlékezés is. Pl. a renehártyán keletkezett képeket a látóideg „spiritus”-a továbbítja a tobozmirigyhez. Az agyból a „spiritus”-ok végül az idegeken át a test izmaiba vetítődnek („reflektálódnak”), és általa tudnak az izmok kitérni, végtagokat mozgatni. 1662-ben (posztumusz) kiadott művében leírta a *reciprok beidegzést* a test két oldalának automatikus ellentétes vagy azonos reakciójának magyarázatára. Az állatoknak viszont nincsen elvonat és ésszerű gondolkodásuk és öntudatuk, ezért számukra az ésszerű nem-anyagi („res cogitans”) lélek megléte életfontosságú, hiszen a *testük gépszerű automata* (látható tehát, hogy a *iatrofizika*, pontosabban a *iatromechanika* képviselője). Az állatok képesek kivitelezni az élethez szükséges egyszerű elmeműködéseket, de nem gondolkodnak és nincs nyelvük. Descartes szerint (akárcsak Augustinus vagy Aquinói Szent Tamás szerint is) a halhatatlansághoz ésszerű lélekkel kell bírni. A lélek „székhelyének” – misztikus és geometriai okokból – az agyvelő közepe táján található és

páratlan *tobozmirigy*et gondolta. Jóllehet úgy vélte, hogy az állatok bonyolult gépek, de azt nem mondta, hogy nem is képesek érzékelésre. Szerinte az *ösztön* azon erők forrása, amelyek irányítják a viselkedést; ezeket isten tervezte meg úgy, hogy a viselkedést alkalmazkodásra képessé tegye. *Les passions de l'âme* (A lélek szenvedélyei, 1649) című művében materialisztikusan azt írja, hogy minden fizikai jelenség megfelelőképpen magyarázható mechanikailag, és hogy az állatok csakis automaták. A viselkedésük fizikai erőknek tulajdonítható, amelyek részben kívülről, részben belülről hatnak rájuk. Pl. az éhező állatban fiziológiai izgalom jön létre, ami az állatot evésre sarkallja. Ez az izgalom az agyba az *érzékszerveken* át lép be, és *reflektálódik* az izmokhoz (ez a később „*reflexes*”-nek nevezett viselkedés alapja). Azt tartotta, hogy a test és a lélek kölcsönhatásban van. Talán a vallásos nézetekre tekintettel azt állította, hogy csak az *ember* rendelkezik elmével; az állatok (és az ember teste) szigorúan vett gép vagy automata. Az emberben azonban az ésszerűség közbeavatkozik a viselkedés irányításában, összhangban a tudással és a vágyakkal. Az *ember* magatartása tehát az *elme* és a *test* kettős befolyása alatt áll, úgy, hogy az elme is alá van vetve bizonyos izgalomoknak („szenvedélyek”-nek), amelyek a testből és az elméből folyamatokból bocsátódnak ki. A „szenvedélyek” (tulajdonképpen az *érzelmek*) készítik elő a lelket arra, hogy olyan dolgokat kívánjunk, amiket a természet szerint használnunk kell; ezek megléte idézi elő, hogy a kívánságaink, vágyaink tartósan fennmaradjanak, és hogy a léleknek ugyanazok az izgalmai jöjjenek létre, amelyek a *szokások* szerint előkészítik a testet a tárgyak hatásba hozását szolgáló mozgásokra. Bár az ésszerű lélek az emberi magatartás nagyfokú szabadságát hozhatja létre, azért az elmét befolyásolják a test fiziológiai állapotai és a „szenvedélyek” (érzelmek) is. Idegélettana emlékeztet Szent Ágoston némely megállapítására. Ennek alapja, hogy „spirituszok” mozognak „csövek”-ben. Ez is hasonló ahhoz, amit Augustinus körvonalaz *De Genesi ad litteram* című művében és másutt. (Mindez Galénoszon keresztül az alexandriai orvosi iskolától ered.) Ismert, hogy Descartes-ot a *De Homine* című művének írásakor erősen befolyásolta Vopiscus Fortunatus Plempius, holland galenista orvos, aki később orvosprofesszor és rektor lett a louvaini egyetemen. Descartes mechanisztikus témafelvetése lehetővé tette, hogy gyökeresen megváltoztassa az idegélettan addigi következtetéseit, és élesítse az elme meg az agyvelő közötti különbségtételt, az utóbbit a test részének tartva).

Henricus Regius (1598–1679), holland orvos, Descartes követője volt az egyike azoknak, akik a karteziánus mechanikát kiteljesítették és hozzásegítették a népszerűséghez. *Physiologia* címen megjelent munkájában ő is a szervezet mechanikai gépi modelljének és a léleknek kettősségére támaszkodott, de azért nedvtani elveit sem adta föl. Pl. az asztmás rohamban a nehézlégzés okát abban vélte megtalálni, hogy az idegi spiritusz hiánya miatt a tüdőben elzárultak a légutak.

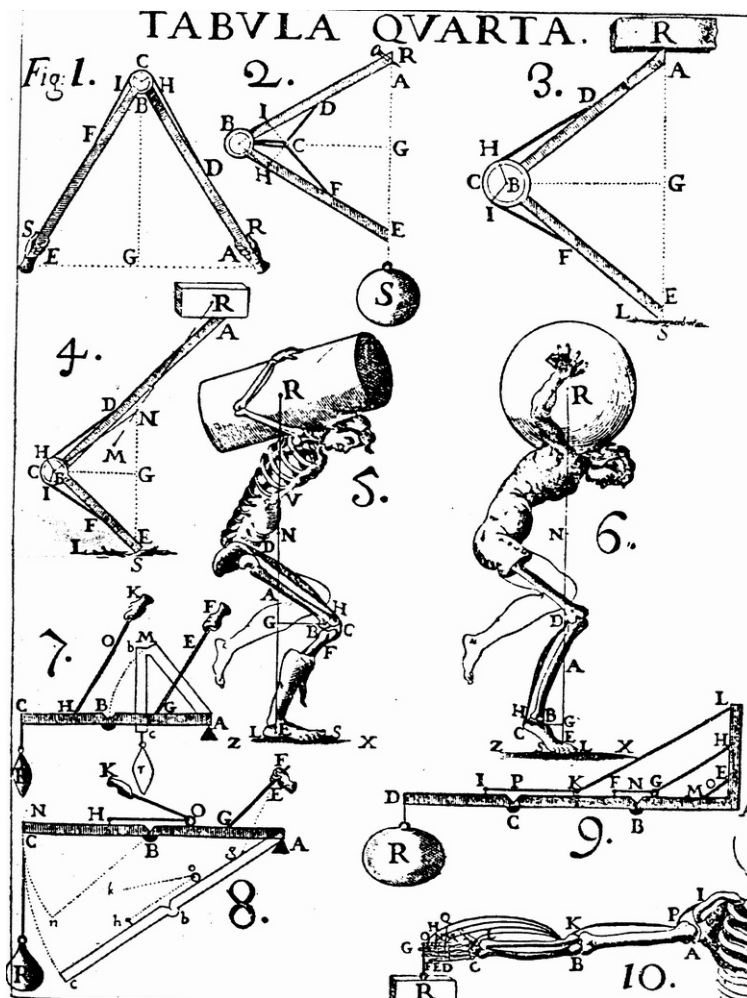
4. A iatrofizikai szemlélet kibontakozása

Amennyire Harvey építhetett az elődeinek teljesítményeire, ő maga a módszertanilag új eszköztárral követők egész sorának nyitott meg új munkaterületeket. Még Harvey életében (1622-ben) írta le Gaspare Aselli (1581–1625) paviai orvos kutyában a béli *nyirokereket*, Jean Pecquet (1622–1674) francia anatómus a bélfodri mirigyekből a kulcscsonti vénáig követte a *mellvezeték* (ductus thoracicus) lefutását (1647). Thomas Bartholin (1616–1680) és Jan van Hoorne (1621–1670) megfigyelései bizonyították be 1651 és 1654 között, hogy a nyiroknedv az emberben a vérbe jut. Harvey elképzelése a vérkeringésről így megnyitotta az utat az anyagcsere biológiájának megértéséhez, szilárd pontot nyújtott egyes kóros jelenségek értelmezéséhez és a gyógykezelés számára is új alapokat jelentett.

Látni fogjuk, hogy a mikroszkopizáló tudósok a maguk eszközeivel igazolják a részek és a szervek finom felépítéséről szóló mechanikai feltételezéseket.

Angliában a iatromechanikai szemlélet legfontosabb képviselője Robert Boyle (1627–1691) fizikus, kémikus és természetbölcselő volt. Ő a „korpuszkuláris kémia” szellemében a vizsgálatok eredményeit a legkisebb részecskék, a „korpuszkulák” mozgásával hozta összefüggésbe. Kutatta a *levegő szerepét* a légzésben és az égésben. 1660 tájt különféle folyadékokat fecskendezett élő kutyákba, hogy megfigyelje a reakciókat, és egyben ellenőrizze Harvey vérkeringési tanát. Az állatpreparálásba bevezeti az *alkoholos konzerválást*.

A iatrofizika a század vége felé Itáliában ismét fellendült. Giorgio Baglivi (1668–1707) itáliai orvos a mirigy-, a légzési és az emésztési funkció magyarázatára is *iatrofizikai* magyarázatot adott. A normális életműködések és a kóros folyamatok magyarázataképpen kidolgozta a *rostelméletet* (vagyis a szervezet szilárd részeinek tulajdonított nagyobb fontosságot, mint a nedveknek és a gázoknak). Ám az egészség feltételének a különböző rostfajták és a mozgó folyadékok egyensúlyát tekintette. Az itáliai tudósok között talán a legjelentősebb iatromechanikus Giovanni Alfonso Borelli (1608–1679), matematikus, fizikus, csillagász és orvos volt. Tagja volt a firenzei Accademia del Cimentónak. Ő a mechanikai elveket konzekvensen alkalmazta az állati test fiziológiai és funkcionális problémáira, ezért a *iatrofizika*, illetve a „biomatematika” szélsőséges képviselőjeként ismert. Kiszámította, hogy mekkora ellenállást kell a szívnek legyőznie minden egyes összehúzódáskor. A vérkeringést ui. hidraulikus rendszernek tekintette. Kísérleteket végzett számos *mozgásról* (1680, posztumusz mű): az emlősök tovaladásáról, a madarak repüléséről, a halak úzásáról, az izomösszehúzódás mechanikájáról, a légzési és a szívmozgásokról; ezeket fizikai (mechanikai) törvényszerűségekre és konstrukciókra vezette vissza.



A mozgás mechanikája Borelli szerint

A XVII. század egyik fontos teljesítménye volt tehát, hogy kezdett testet öltetni az élőlények működéseiről szóló tudomány, a *fiziológia* is. A Harvey nyitotta úton haladva a fizika és a kémia egyre növekvő ismeretanyaga ellenére még mindig inkább az anatómiához és az orvosláshoz kapcsolódott. Ahhoz, hogy a kémia megfelelőképpen hozzájárulhasson az orvoslás, a biológia és a mezőgazdaság problémáinak megoldásához, meg kellett szabadítania saját magát a közvetlen gyakorlati igényektől, hogy alaptudománnyá válhasson. Ez kb. 1650 táján kezdődött Robert Boyle munkásságával. Kortársa, John Mayow (1643–1679), alapvető analógiát figyelt meg az *állatok légzése* és az *égés* között. Edmé Mariotte (1620–1684) francia fizikus és botanikus ismerte fel, hogy a talaj és a víz a különböző növényeknek ugyanazokat a tápanyagokat nyújtják, de ezek az anyagok a növényekben új és különböző vegyületekbe kerülnek. Első alkalommal említette a *levegőt* mint a növények tápanyagainak forrását. Kísérletesen megállapította a növények *párologtatását*, megmérte a kiválasztott vízmennyiséget. Stephen Hales (1677–1761) angol pap és természettudós a *kísérletes élettan* egyik úttörője volt. Mint kémikus, a *gázokkal* kapcsolatban végzett megfigyeléseket. Eljárást dolgozott ki az étel tartósítására, a tenger vizének tisztítására. Ő határozta meg először kísérletesen a víz *hidrosztatikai nyomását*. A különféle állatok ütőereibe vezetett csövön át először mérte meg a(z artériás) *vérnyomást*. 1733-ban először publikálta megfigyeléseit arról, hogy a *gerincvelő* destrukciója után megszűnnek az *akaratlan mozgások* (pl. a fájdalmas ingertől való visszahúzódás). (Ezzel kimutatta, hogy egyes reflexeket a gerincvelő képes kivitelezni az agyvelő közreműködése nélkül.) Ő is utalt arra, hogy a levegő szükséges a

növények táplálásához. Vizsgálta a növények növekedését, nedvzállítását, a párolgás okozta vízveszteségüket. Kampányokat folytatott a jobb higiéniaért a hajókon, a kórházakban és a börtönökben.

A fizioiógiaához jelentős hozzájárulás volt Francis Glisson (1597–1677) angol fizikus és orvos hozzájárulása is. Ő W. Harvey vérkeringéssel kapcsolatos felfedezésétől ösztönözve kiterjedt kutatásokat végzett; anatómiaiilag és részben kísérletesen is vizsgált egyes szerveket, mint pl. a májat, a gyomrot és a szívet, az izmok szerkezetét és funkcióját. Leírta a *máj kapuérrendszerét*, a májat borító kötőszövetes kapszulát (a „*Glisson-tok*”-ot). Megalapozott egy sajátos ingerlékenységi szövettant, ami szerint a „*rost*” (fibra) az élő test alapeleme, ami az ingerekre összehúzódással válaszol. Az *ingerlékenységet* az idegekben áramló „életerő” (robur vital) tartja fent. (Ez egy sajátos „irritabilitási” elmélet. Az élő „rostok” ingerelhetőségéről és érzékenységéről szóló elméletével a Haller-féle élettan korai előfutárának tekinthető.)

Sokat köszönhet a fizioiógia a dán fizikus, anatómus, később pap és püspök Niels Stensennek (vagy Nikolaus Stenónak) is. Az orvoslást kezdetben Th. Bartholintól tanulta, aztán Amszterdamban, Leidenben, majd Párizsban fejlesztette ismereteit. 1660-ban ő is felfedezte a *hasnyálmirigy kivezetőcsövét* (a ductus pancreaticus) az amszterdami saját első boncolásán (amit 1641-ben pulykában megtalált Moritz Hofmann (1622–1698) bajor orvos Padovában és 1642-ben emberi hullán már kiboncolt Johann Georg Wirsung (1600–1643) német származású itáliai anatómus ugyancsak Padovában). Ezután hamarosan Leidenbe ment anatómiát tanulni Sylviushoz és Van Hoornéhoz. Barátja lett Swammerdamnak és de Graafnak. Levelezéseiből világos, hogy a leideni mirigykutatásainak és a későbbi agykutatásának nagy része Descartes *De Homine* című művére adott reakció volt. Kétségbe vonta a Descartes-féle tobozmirigy székhelyű lélekelméletet. Számos megfigyelést végzett összehasonlító anatómiából, embriológiából; mikroszkopizált is. Megfogalmazott egy *iatrofizikai* jellegű *izomtant*. A szívet elsőként írta le kerekded izomcsoportként, leírta a rostozatát, az *összehúzódását* pedig a rostok geometriai átrendeződésével magyarázta (1664). Elsőként ismerte fel a *földtani rétegek* geológiai és földtörténeti jelentőségét, továbbá a megkövesedett maradványok (a *fossziliák*) biológiai eredetét és tudományos hasznosságát.

Ugyancsak a XVII. században vett új fordulatot az *idegrendszer* kutatása is. Ebben mind francia, mind angol természettudósok jelentősen közreműködtek.

Az akkori angol tudományos élet egyik legtevékenyebb alakja volt Thomas Willis (1621–1675), angol orvos, csillagász és természetfilozófus. Feltehetőleg alapítója és egyik első tagja a Royal Society-nek (1662). Descartes mechanisztikus elméleteinek követője és anti-arisztotelianus volt. Foglalkozott az anatómia mellett az *idegrendszer* működésével is, sőt, ez lett egyik fő érdeklődési területe. Hét fontos könyve a középkor és a modern kor átmenetét jelenti az *agyvelő szerkezete és működése* tekintetében. Kísérleti állatok agyvelejét sértette meg szúrással, vágással, és megfigyelte, hogy mi történik velük (ahogyan ezt már Leonardo da Vinci és Coyster is tették). A módszerei ugyan rendkívül durvák voltak, de a céltudatos kérdésfeltevése, a kísérleti feltételeknek a fontos kérdés köré csoportosítása mégis forradalmi változást jelentett az idegrendszer működésének vizsgálatában. A megfigyeléseit úgy magyarázta, hogy a *kisagy* irányítja az életfontosságú funkciókat. Ebből kiindulva kísérletesen igyekezett bizonyítani a többi agyrész speciális funkcióit is. Így a *kérgestestbe* (corpus callosum) lokalizálta a képzelőerőt, a *nagyagy* tekervényeibe a tudatot, a *középagyba* az ösztönöket. (Bár Willis módszerei durvák voltak, sokszor tévedett, gondolatai tele voltak spekulációkkal, mégis e primitív kísérletek szüntették meg lassan azt az elképzelést, hogy az agy csak az általános érzékelés és a mozgás

központja.) Az agy alapján levő artériás gyűrűbe festéket juttatott, és így próbálta feltárni az összeköttetéseket. (Ezt az *agyalapi artériás gyűrűt* könyvének illusztrátora, Chr. Wren nevezte el „*circulus arteriosus Willisii*”-nek.) Szerinte a testet irányító *lélek* két részből áll: a vérben levő lélek tűzlángszerű, míg az idegrendszerben székelő lélek fény természetű. A vér az agyba kerülve „desztillálódik” és „*spiritus animalis*” keletkezik belőle, de ennek is egy része a nagyagyban jön létre és az akaratlagos mozgások, valamint az érzékelés irányítója, míg a másik a kisagyban keletkezik, és az életfontosságú működéseket (a szívverést, a légzést stb.) szabályozza. A *spiritus animalis* perifériás tárolóhelyei a *környéki idegdúcok*. Az érzékelés központja szerinte a *csíkkolt testben* van, mert minden érzőideg ide sugározza az érzéketeket; de a csíkkolt testből haladnak a mozgatóerőt jelentő *spirituszok* az izmokhoz is, mégpedig „visszavert hullámként” (azaz a descartes-i automataelmélet híve volt). Felhívta a figyelmet (Descartes-hoz hasonlóan) az *akaratlan mozgások* automatikus jellegére. Kilenc pár *agyideget* különített el (az addig ismert héttel szemben). A *látóideget* a szem vezetékének tartotta, amely szerinte a *talamuszban* végződik, ahol a látás képzetei keletkeznek. Kimutatta, hogy a látóidegben csak rostnyalábok vannak, csatornák nincsenek. Vizsgálta a *belső fül hártvás labirintusát* is. 1650 táján észrevette, hogy a *cukorbeteg* vizelete édes. Számos betegség részletes leírását végezte el: tífusz, gyermekágyi láz, skorbut, szamárköhögés, hisztéria, a gümőkór tuberkulomái. Végzett *összehasonlító anatómiai* vizsgálatokat különféle *gerinceseken* és néhány *gerinctelenen* (osztrigák, férgek, rákok). Nála található meg világosan az a gondolat, hogy a struktúrák kutatását összehasonlító anatómiára kellene alapozni (magát a fogalmat is az elsők között használta), és hogy csak a különböző állatok hasonló struktúráinak összehasonlítása vezethet a test és a szervek felépítésének helyes megértéséhez.

Claude Perrault (1613–1688) francia építész és orvos (ő építette a Louvre keleti oszlopcsarnokát) a párizsi anatómusiskola csoportjában az *összehasonlító anatómiának* szentelte magát (ennek egyik legjelentősebb képviselője lett). Többnyire Duverney-vel együtt szerkesztette a párizsi anatómusok kollektív munkáját, amiben 50-nél több *gerinces* állat összehasonlító anatómiáját írták le. A *iatrofizika* jeles képviselője volt. Fő biológiai jellegű művében részletesen tárgyalta a *bél* perisztaltikus (hernyószerű) mozgását, a *szívbillentyűk* működését, az érzékelést és az értelem működését; nem volt ennyire sikeres az *izmok összehúzódsával* (úgy vélte, hogy a dinamikai hatásért a kötőszövet a felelős). Újszerű fiziológiai kísérleteket végzett állatokon. Megállapítja, hogy az agyvelőirtott kutya életben marad, ha a *nyúltagya* ép marad. Descartes-tal ellentétben úgy vélte, hogy az állati testet valamilyen lelki elv működteti. 1667 januárjában megpróbálkozott *vérátömlesztéssel* két állat között. Az ugyancsak francia Raymond Vieussens (1635–1715) szintén a *nyúltagyat* tartotta az idegrendszer legfontosabb részének, mert a nagyagy és a kisagy eltávolítása után a *kutyáit* még órákig életben tudta tartani. Azt tapasztalta, hogy az *agykéreg* megsértése (szúrással, csípéssel) vagy ingerlése semmilyen elváltozást nem idéz elő. Ebből kiindulva kezdte ellenezni Th. Willis nézetét arról, hogy az agykéreg fontos szerepet játszana az érzékelésben. Úgy vélte, hogy a *környéki idegdúcok* a „*spiritus animalis*” környéki tárolóhelyei (ebben azonos véleményen volt Willisszel).

Athanasius Kircher (1602–1680), német jezsuita pap *Ars magna lucis et umbrae* című könyvének két fejezetét is a *biolumineszcenciának* szentelte, ami már az ókorban is annyira foglalkoztatta a természetbölcseket. (A iatrofizika mellett talán ez az első tudományosabb jellegű biofizikai munka.)

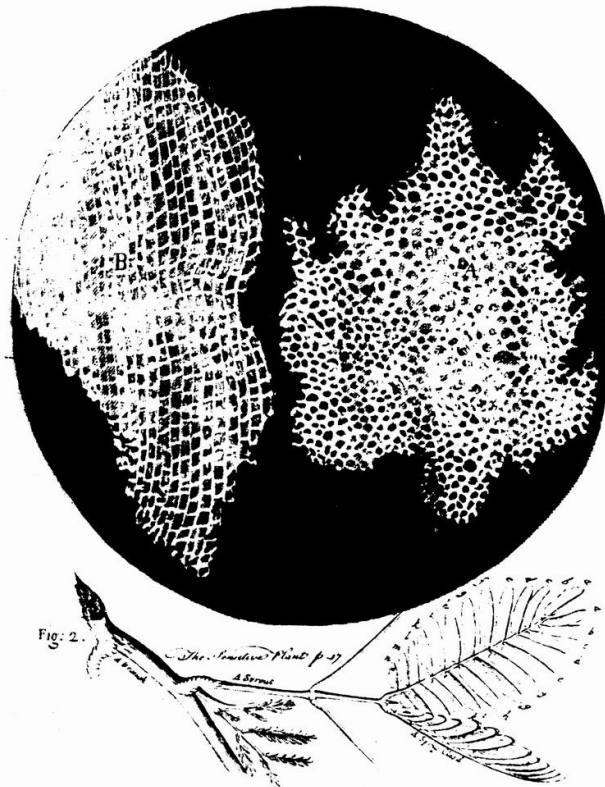
Az emberi betegségek rendszerének nagy áttekintője volt Friedrich Hoffmann (1660–1742) német orvos és kémikus a század vége felé. A hallei egyetemen 33 évesen lett (az első)

orvosprofesszor (a második orvosprofesszorral, Georg Ernst Stahlal versengő orvosi iskolát hozott létre). Vezéreszméje: „*experientia et ratio*”. (Ez a nézet a *iatrofizikával* együtt alapozta meg a klinikai szemléletet.) Szerinte a természeti törvények korlátlanul érvényesek az emberre is. Egy olyan mechanikus dogmatikus rendszer kidolgozásán fáradozott, amiben az *embert* hidraulikus gépnek írta le, amin az „éter”-ben keletkezett idegi „fluidum” halad át. Ez a fluidum a légzőszerveken keresztül jut a szervezetbe, és a testben kering, mégpedig a rostok összehúzódása és kitágulása következtében. Akárcsak egy óraszerkezetben, itt is minden mindennel kapcsolatban van. A legfontosabb mozgás szerinte a vér folyamatos keringése; ez egy lényegű magával az étellel. A *betegségek* közvetlen okai a mozgás zavaaraiban keresendők. Ezért olyan nagy fontosságú a „*spasmus*” (a rostok görcsös összehúzódása), illetve az „*atónia*” (a túlzott fokú elernyedés). A mozgászavarok miatt megváltozik a vér áramlási sebessége: ha növekszik, akkor nő a súrlódás, ami miatt növekszik a testhőmérséklet, ha meg csökken, akkor szétválasztódnak a vér anyagai, amelyek így összecsomósodhatnak és eltömhetik az ereket. Ezért a káros anyagok nem tudnak kiválasztódní, az erek pedig szétpattanhatnak. Értelmezése szerint az életet a *vérkeringés* tartja egyensúlyban. Az elsők között írta le a *csalánkiütés*, a *vakbélgyulladás* és számos más betegség tüneteit. Felismerte az *idegrendszer* fontos szabályozó szerepét is. A iatromechanika rendszerét *Fundamenta* című könyvében tette közzé (1695). Sikeres vizsgálatokat folytatott a gyógyszerkészítés területén is (rőla nevezték el pl. a „*Hoffmann-cseppek*”-et). Hírneve gyorsan növekedett; Európa legjelentősebb tudományos akadémiái választották meg tagjuknak.

5. Mikroszkóppal vizsgálódó kutatók

A *mikroszkóp* szélesebb körű alkalmazásával egy új világ tárult fel az ember előtt. A XVI. század végén felfedezték, hogy ha bizonyos üveglencsét egy csőben összeillesztenek, akkor azzal lehet nagyítani és messzire látni (vagyis felfedezték a mikroszkópot és a teleszkópot). A század első évtizedeiben már sokféle ismerték a „bolhanézó üveg” - et, és a vásárokon szórakozásul bolhákat nézegettek vele. 1608-ben két lencse egy csőbe helyezésével feltalálják az összetett mikroszkópot és a teleszkópot. A mikroszkópot tudományos célra először talán Francesco Stelluti (1577–1653) itáliai természetbúvár használta, amikor 1625-ben leírta a lépes méz szerkezetét. Az eszköz továbbfejlesztésében és a biológiai kutatásában való alkalmazásában a következő mikroszkopizáló természetbúvárok emelkedtek ki: Marcello Malpighi, Antonie van Leeuwenhoek, Jan Swammerdam, Nehemiah Grew és Robert Hooke. A mikroszkópos felfedezők nagyobb része azonban nem volt felkészülve arra, amit felfedezett, nem volt szemlélete arra nézve, hogy mit is keres a sajátos eszközzel. Ezért nem jöttek rá sokáig, hogy az élőlényeket sejtek alkotják, de még arra sem, hogy többen közülük felfedezték az élőlények addig nem ismert csoportját, a baktériumokat.

Fig: 1.



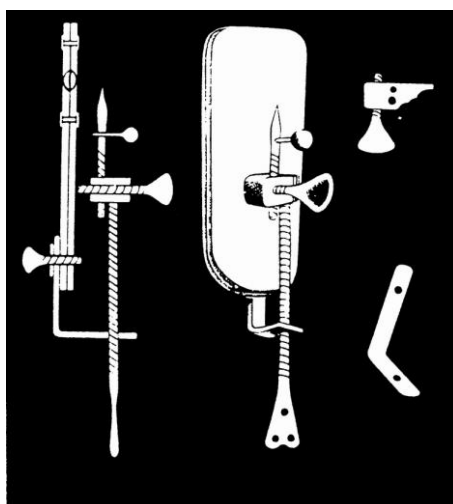
Sejtfalak Hook mikroszkópja alatt

A növényi sejtet a parafa metszetén a londoni Robert Hooke (1635–1703) angol természettudós fedezte fel (1665), és ő is nevezte el „cellulá”-nak („sejt”-nek); valójában persze csak a sejtfalat látta. Talán ő volt a mikroszkopizálók közül a leginkább intellektuális alkat. Mivel a londoni Royal Society eszközeinek kurátora volt, kapcsolatban állt minden új tudományos fejlesztéssel, és igen különféle dolgok iránt érdeklődött. Az volt a feladata, hogy a tudományos kísérleteket előkészítse. Eközben sikerült neki – főleg a fizika területén – egyes eszközök döntő technikai tökéletesítése. Számos jelentős találmánya volt, ezek közül is kiemelkedő az által konstruált kombinált mikroszkóp. Az 1665-ben publikált *Micrographia* című, 83 táblát tartalmazó művében részletesen leírta a levelek szerkezetét, a méh fullánkját, a puhatestűek raduláját és a légy lábát; felfedezte azt is, hogy egyes növények bizonyos szöveteinek sejtjei folyadékkal töltöttek, mások meg üresek. Ezért vélte úgy, hogy a „kamrácskák” funkciója a növényekben az anyagok szállítása lehet. 1682-ben a társaság előtt tartott előadásában leírta az *elme* és az *agy* materialista és fiziológiai elméletét. Orvosi kutatásaiban vizsgálta a *tüdő* működését, foglalkozott a mesterséges lélegeztetés problémájával.



Hook mikroszkópja

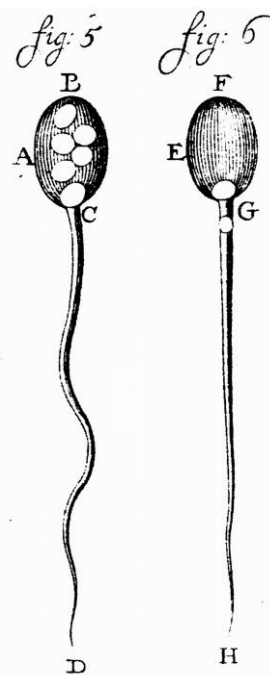
Fiatalabb kortársa és honfitársa, a cambridge-i Nehemiah Grew (1641–1711) már növényi szöveteket vizsgált az összetett nagyítójával. 1664-től kezdte vizsgálni a *növények anatómiáját*. Jó minőségű mikroszkópot szerkesztett a londoni Royal Society számára. 1672-ben adta közre első nagy művét *An idea of a philosophical history of plants* (A növények természetrajzának elgondolása) címmel, amit követett 1682-ben a *The anatomy of plants* (A növények anatómiája). Világosan meglátta a sejthatárokat a növényekben (ezeket „hólyagocskák”-nak nevezte), csak a felfedezés biológiai jelentőségét nem látta meg. Felismerte viszont, hogy a virág tartalmazza a növény ivarszerveit és részletesen le is írta a részeiket, a pollenszemeket is; megfigyelte, hogyan szállítják a virágport a méhek (de ennek jelentőségét sem ismerte föl). Ezenkívül összehasonlító anatómiai vizsgálatokat végzett *emlősök, madarak és halak emésztőcsatornáján*. Ő használta először az „*összehasonlító anatómia*” fogalmat az állattani tanulmányok számára.



Leeuwenhoek mikroszkópja

Az első valóban élő sejtet a delfti holland posztókereskedő, autodidakta természetbúvár Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) látta meg az 1670-es évek táján. 1671-ben kezdett hozzá kutatói tevékenységéhez. Szórakozásképpen készített *nagyítókat* (amelyekkel állítólag több mint 200-szoros nagyítást is sikerült elérnie). Minden előképzettség nélkül mindent megvizsgált

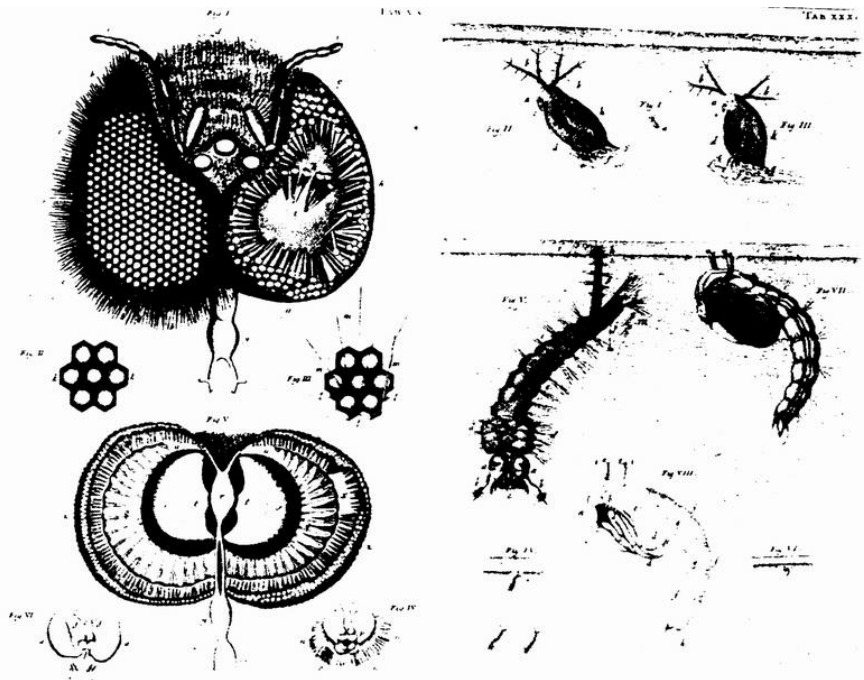
nagyítóival, ami csak a kezébe került: növényi részeket, izomdarabokat, bőrt, nedveket, váladékokat, a fogat, a haját. Hamarosan elterjedt a híre, hogy *összetett nagyító*jával hihetetlen dolgokat lát. 1674-ben írta le az általa „*animalculus*”-oknak nevezett parányi lényeket – vagyis az *áزالékállatkákat*, az *egysejtű állatokat* és 1677 után az *ondósejteket* –, 1676-ban az *ecetféreg* szaporodását, 1683-ban a békák kloakájában megfigyelt *fonálférgeket*, az emberi fogkaparékban pedig az addigiaknál is parányibb, a mikroszkópjával is alig kivehető lényeket (valószínűleg bizonyos *baktériumokat*) látott. 1694-ban számolt be a *mohaállatokról* és a *kerekesférgekről*. A szakemberek figyelmét Reinier de Graaf hívta fel rá; a kételkedő londoni Royal Society egy bizottságot küldött ki a hírek ellenőrzésére. (A bizottság tagja volt Robert Hooke és Nehemiah Grew is.) Leeuwenhoek készségesen demonstrálta a vízben és a váladékokban nyüzsgő „*animalculus*”-okat. Vizsgálta továbbá a *vörösvérsejteket* (amikről ő adott először pontos leírást 1673-ban), a *hajszálereket* (1683), a *vázizmok harántcsíkolatát*, a *szívizom* hálózatos stuktúráját, a *szemlencse* hagymahéjas szerkezetét és sok mást is. Kimutatta a vér keringését a hajszálerekben. 1696-ban a fogban demonstrálta a *dentin* rostokat. Tanulmányozta a *rák*ok és a *rovarok fejlődését*, az *összetett szemet*, a *belső szerveiket*. Részletesen elemezte az *egy- és kétszikű növényeket*. A Royal Societyval folytatott levelezésében (1673-tól 1724-ig jelentek meg a *Philosophical Transactions* ben) számos részletet leírt az idegrendszer szövettanáról is. De nem volt hajlandó elárulni a mikroszkópja készítésének titkát. (A legjobb üvegből, hegyikristályból és végül gyémántokból csiszolta a lencséket.) Erre nem is volt szükség, mert összetett nagyítót más tudósok is tudtak készíteni. A XVII. század közepétől Európa-szerte megindult a mikroszkopizálás és a mikroszkópos szerkezetek kutatása.



Kutyaspermiumok Leeuwenhoek könyvéből

Az a felfedezés, hogy valóban léteznek olyan élő formák is, amelyek szabad szemmel nem láthatók, drámai változást jelez az emberi tudás fejlődésében. Leeuwenhoek igazolta tanítványának, Jan Hamnak a felfedezését az *ondósejtről* (spermatozoonról); később felfedezte a spermiumokat más állatokban és a közönség után a női ivarutakban is. (Ezzel hívta fel a figyelmet annak az

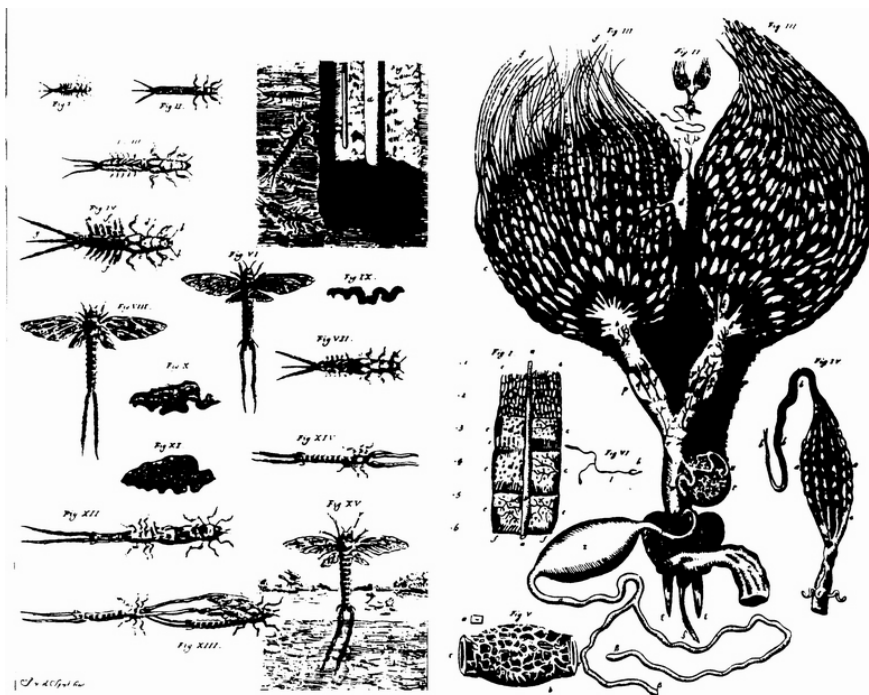
elképzelésnek a téves voltára, ami szerint egy állat fejlődése csak a petétől függ és az ondó csak valamiféle „kigőzölgést” indukál, ami a méhbe hatolva valahogy befolyásolja a megtermékenyítést; vagyis megsejtette, hogy az ondó hordozza valami módon a hím örökítő anyagát.) Őt a tökéletes lencse csiszolásának elképzelése annyira foglalkoztatta, hogy az eredeti foglalkozását is elhanyagolta. Úgy vélte, hogy a legkisebb „animalculusok” (baktériumok) legalább 25-ször kisebbek, mint a vörösvérsejtek (ami nagyjából meg is felel a valóságnak). A vizekben megfigyelt „animalculusok” (egysejtűek és baktériumok) léte a kortársakban kétségeket kezdett ébreszteni az ősnemződés tana iránt. Christiaan Huygens, Leeuwenhoek fizikus barátja szerint ezek a parányi állatkák eléggé kicsinyek ahhoz, hogy akár a levegőben is lebegve eljuthassanak messzire és a vizekben szaporodhassanak (eme kételyen túl azonban ekkor még nem jutott az ősnemződéssel szembeni kritika).



Swammerdam ábrái a mézelő méh facettás szeméről, illetve vizibolhákról és szúnyoglárvákról

Az autodidakta Leeuwenhoekkal szemben a kor- és honfitárs Jan Swammerdam (1637–1680) orvos, iskolázott természetbúvár volt. Az orvosi gyakorlattal hamar felhagyott; csak a természet kutatása érdekelte: előbb az ember anatómiája és élettana, később a rovarok világa. Malpighitól és Leeuwenhoektól függetlenül felfedezte a vörösvérsejteket (1658); ugyanekkor leírta az ondóban található mozgó szálakat (tkp. felfedezte a hímivarsejteket). Leírta a nyirokerek billentyűit (1664), ő is részletesen vizsgálta a hajszálereket; de kutatta az izom ingerlékenységét és összehúzódását, a lágyék- és combsérv létrejöttének mechanizmusát; vizsgálta a női nemi szervek élettanát. 1675-ben bebizonyította, hogy az izmok összehúzódásakor semmiféle térfogatváltozás nem következik be. (Ezzel ellentmondott az idegi „fluidumok”-ra vonatkozó elméleteknek.) A természetet szerves egységben szemlélte. Éles szemű megfigyelő volt, és különös manuális ügyességre is szert tett. Olyan élesre köszörülte a bonckését, hogy csak mikroszkóp alatt tudott dolgozni. Első tanulmányát a légzésről írta 1667-ben az akkor modern descartes-i szellemben. Ugyanekkor kidolgozott egy új anatómiai vizsgáló módszert, az érfestést: az ereket (részben a rothadástól megóvándó) folyékony viasszal vagy színes alkohollal töltötte fel, hogy pontosan követhesse a lefutásukat. Barátai Reinier

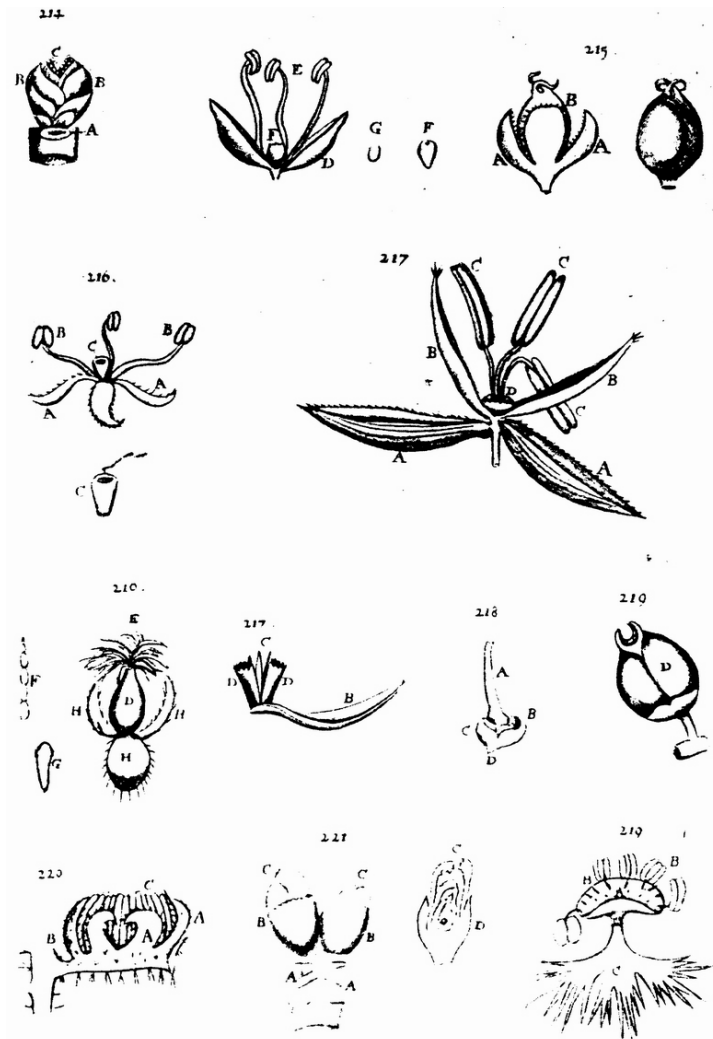
de Graaf és Frederik Ruysch – általa ismerték meg a módszert. Ám Graaf és Jan van Hoorne kiadtak egy közös munkát, amiben – Swammerdam nevét nem említve – leírták az erek feltöltésének módszerét és ennek eredményeit; F. Ruysch pedig tökéletessé fejlesztette az eljárást (világhíres lett vele). Erre Swammerdam összeveszett a barátaival, és gyorsan megírt egy dolgozatot a *női nemi szervek* élettanáról (1672), amiben alaposan nekiment R. de Graafnak. Dokumentumait összeszedve a londoni Royal Society-hez fordult, ahol plágiummal vádolta a barátait, és a társaság döntését kérte a prioritás ügyében. A vizsgálat nagy port vert fel a tudósok között. Swammerdam csupán mikropipettás befűvást vagy mechanikus feltöltést alkalmazott, de Graaf vezette be a praktikusabb befecskendezést. A Royal Society végül is Swammerdamnak ítélte az elsőbbséget. (Graaf a döntés előtt váratlanul meghalt; azt rebesgették, hogy a prioritási vita izgalma ölte meg. Swammerdam meg ezt elhitte, és az önvád miatt lelkileg összeomlott.) Ő kevés szervezetet tanulmányozott, de azokat nagy részletességgel. Gyermekkora óta gyűjtötte a rovarokat és a velük kapcsolatos megfigyeléseit. Ezért megszüntette orvosi gyakorlatát, falura költözött és igen szegényes körülmények között, teljesen a *rovarok* kutatásának szentelte minden idejét. Nagyon sok új adattal gazdagította az entomológiát. Kipreparálta és mikroszkóp alatt megvizsgálta a *méhek ivarszerveit*; megállapította a *dolgozókról*, hogy azok terméketlen nőstények; leírta a méhek „államát” (1673). Megfigyelte a rovarok addig ismeretlen belső szerveit. Vizsgálta a *kérészek* életét és metamorfózisát, a *korallok* szerkezetét, a *macskahal* anatómiáját.



Swammerdam további ábrái a kérész fejlődéséről és a méh belső szerveiről

1669-ben publikálta *Algemeene Verhandeling van bloedeloose diertjens* (A vértelen állatok általános vizsgálata) című művét, amelyben nagyszámú ízeltlábú, rovar, pók, skorpió, csiga, féreg és hal szervezetét írta le. Ő ezeket mind (tévesen) „rovarok”-nak tekintette és a fejlődésmódjuk szerint különböztette meg azokat (munkássága lényegében feltárta a rovarok egyedfejlődését). 1675-ben *Ephemeris vita* címmel publikált egy részletesen illusztrált művet a *szitakötők* életéről. (Sokan az ő műveit tekintik a mikroszkópos megfigyelések legfinomabb gyűjteményének.)

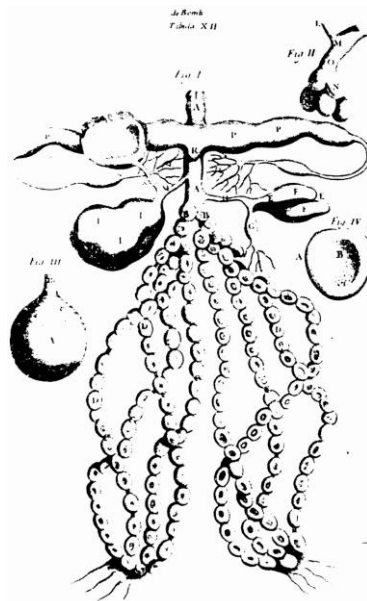
Ugyanebben az időben Reinier de Graaf (1641–1673) holland anatómus, orvos, természetbúvár, Swammerdam barátja, majd ellenfele, kezdetben a *hasnyálmirigy*et és váladékát tanulmányozta. A hasnyálat mesterséges *sipoly* segítségével nyerte *kutyából* (1664). (Ő hozta végzet el először a műtétet egy kutyán. Ezt a fontos módszertani előrelépést majdnem 200 éven át elfelejtették.) Később a *madarak* és az *emlősök* petefészkein végzett összehasonlító anatómiai vizsgálatokat. 1672-ban talált az *emlősök* petefészkeiben hólyagszerű képződményeket, amiket ő „peték”-nek tartott (a madártojással tartotta azonosnak); valójában a később róla elnevezett *tüszőket* fedezte fel. Részletesen leírta a *petefészek tüszőit* és fejlődésüket (a tüszők egyes fázisai Graaf nevét viselik). Ezzel megkérdőjelezte az arisztotelészi nemzési tant.



Malpighi ábrái növényi szervekről

Az itáliai Marcello Malpighi (1628–1694) orvos, anatómus, fiziológus sokat vizsgálta az állatok anatómiáját és szövettanát. Az elsők között alkalmazta a *mikroszkópot* módszeresen a szövetek tanulmányozásában, ezért őt tekinthetjük a *szövettan* egyik megalapozójának. Anatómiai és élettani vizsgálatait elsősorban az *emberen* végezte, de emellett *rovarokon*, majd a *növényeken* is. Először írta le a *légnyirokcsomócskáit*, a *bőr* róla elnevezett rétegét, a *nyelv* szemölcsseit, a nagyagy külső *kérgét*; elemezte a *vese* testecskéit és a velőállományának piramisait. 1661-ben fedezte fel a *békatüdő lég hólyagocskáit*, a *hajszáleréket* és bennük a véráramlást (ezzel teljessé tette a vérkeringés felfedezését). A tüdőről azt gondolta, hogy a folyékony táplálék (a „chylus”) vérré

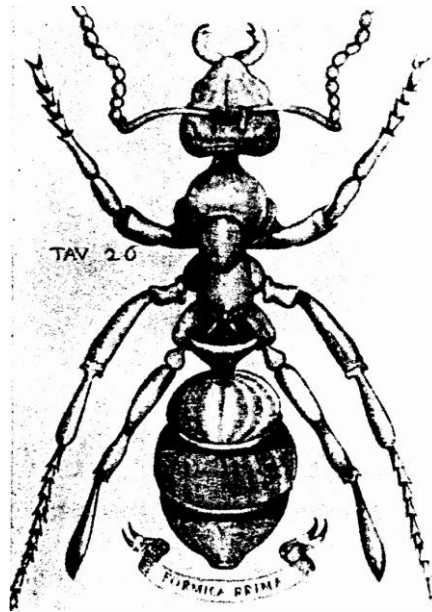
alakítására szolgál. Ezért a béka hajszálereiben látott vörösvérsejteket kezdetben zsírgömböcskéknek vélte. A májat is mirigynek képzelte, amely az epét választja ki. De mirigyes jellegűnek vélte az agyvelőt is, főleg a kérgét. Írt egy részletes monográfiát a selyemhernyóról; ez a tanulmánya az első teljes munka, amely bemutatja az *ízeltlábúak* fejlődését, keringését, idegrendszerét, légcsőrendszerét és a tápcsatorna kiválasztást végző függelékeit (ezeket ma is *Malpighi-edényeknek* nevezik). Leírta a csirkeembrió fejlődését a tojás keltetésétől kezdve. Alaposan elemezte a növények anatómiáját is: rendszeres leírást adott a különböző növényi részekről (kéreg, törzs, gyökér, magvak), tárgyalta a csírázást, a gubacsok keletkezését; úgy tűnik, megsejtette azt is, hogy a növények sejtekből állnak. Sok növényanatómiai rajza mindaddig érthetetlen maradt a botanikusok számára, amíg a XIX. században újra fel nem fedezték az általa leírt struktúrákat.



A poszméh kiválasztószervei Malpighi szerint

A mikroszkopizálók között említhetjük a német Athanasius Kirchert (1602–1680), jezsuita papot és polihisztort is. Rómában 1656-ban pestises betegek vérének és más testváladékait vizsgálva a *fertőző betegségek kórokozói* („vermiculi”) vélte megtalálni a vérben a mikroszkóp alatt (a nem megfelelő technikai színvonalú mikroszkópjával nem láthatta a pestis baktériumát; amit látott, feltehetőleg vörösvérsejtek lehettek). (Mindenesetre ő az első, aki orvosi kérdések eldöntésére mikroszkópot használt.) Bár a *pestis* fő okát a rossz levegőben és a káros kigőzölgésekben látta, mégis feltételezett egy különös *betegségátvivő tényezőt* (az ún. „*contagium*”-ot) is, amely szerinte a rothadásból keletkezik és a fertőzésért felelős.

1668 után Francesco Redi mikroszkópot használva a bélben kimutatta a *bélférgek* petéit. Ugyancsak mikroszkóppal fölfedezte a *májmetelyt* (amelynek egyik átmeneti lárvaalakját az ő tiszteletére nevezték el „redia” lárvának).



Redi hangyája

A mindent megfigyelő mikroszkopizálók juttatták érvényre azt a fontos elvet, hogy a megfigyelés és a kísérlet az elsőrendű fontosságú, a tiszta hipotetikus filozófiai spekuláció nem elégséges a világ jelenségeinek megértéséhez. Munkásságuk nagy jelentősége az, hogy először tárta fel az élő szervezetek szinte hihetetlen bonyolultságú világát. A mikroszkópos vizsgálatok továbbfejlesztése és egy újabb világ feltárulása majd kétszáz évet váratott magára.

6. Az embrionális fejlődés: a preformáció tana

W. Harvey érdeklődött az *embriológia* iránt is. 1651-ben felfedezte, hogy az őzembriók az egyedfejlődésük korai szakaszában kis golyószerű megjelenésűek. Ebből arra következtetett, hogy a kis labdaszerű képződmény talán a petéből ered. Ezért szögezte le azt a tételt, hogy minden élő tojásból (petéből) lesz (ennek a felfogásnak az összegzése az „*ex ovo omnia*” kijelentés; ezzel vetette el Arisztotelész koncepcióját a vér általi öröklődésről). Később az állatok mozgásának fizikájával foglalkozott.

A szövetek és sejtek mikroszkópos megfigyelése lehetővé tette az *embrionális fejlődés* részletesebb tanulmányozását is. Nagy vitákat váltott ki, hogy az ivarsejtek közül melyikbe lehetne lokalizálni a felnőtt kicsinyített másaként meglévő parányi ébrényt, amely a fejlődés során növekedik: a petesejtbe (*ovisták*) vagy az ondósejtbe (*animalkulisták*). Akik az egyedfejlődést a már preformáltan meglévő embrió egyszerű növekedésének gondolták, a *preformisták*; közéjük tartozott a XVII. században Malpighi, Jan Swammerdam, a XVIII. században Albrecht von Haller fiziológus és Charles Bonnet (*ovisták*), továbbá Leeuwenhoek, *Hartsoeker*, majd Leibniz és Boerhaave (*animalkulisták*).

A mozgó spermatozoonok láttán Leeuwenhoek cáfolni vélte Harvey nézetét (ami szerint minden élő a tojásból lesz); szerinte az élet forrása nem a mozdulatlan tojásban van, hanem a mozgékony spermatozoonokban (ezért az „*animalkulisták*” táborának volt lelkes híve). A századforduló közelében kiadott könyvében arra a következtetésre jutott, hogy az *élet az életből él* (amivel cáfolta az ősnemződés elméletét). 1703-ban a *levéltetvek* vizsgálata során felfedezi a *szűznemzés* egyik formáját.

Swammerdam leírta a *békák egyedfejlődését a petesejt osztódásától* (amit előtte még senki sem látott) az ebihal állapoton át a felnőttig. Fejlődéstani párhuzamot vont az állat- és a növényvilág között; a törvényszerűségek alól nem vette ki az embert sem. Hevesen támadta Francesco Redivel egyidőben az ősnemződés tanát, mert szerinte is minden nem elevenen születő állat *tojásból* (*petéből*) keletkezik, amit egy ugyanolyan fajta állat rakott le előzetesen. A *rovarokat* az egyedfejlődésük alapján 4 csoportra osztotta. Részletes leírásuk mellett elsősorban az *átalakulásukkal* foglalkozott. Ő bizonyította be, hogy a bábból kibújó rovar ugyanaz, mint a lárva volt, átalakult ugyan, de nem új állatról van szó (nem lehet tehát az átalakulást a feltámadás jelképének tartani). A bizonyítás egyszerű és szellemes: megcsonkította a hernyók első 3 szelvényén levő szarvszerű nyúlványokat, mire a bábból kikelő lepke lábai csonkák lettek. Ezzel bebizonyította, hogy a kifejlett rovar struktúrái nem a bábban keletkeznek, hanem már a lárvában csíraállapotban kezdeményként jelen vannak. Ezért a metamorfózist preformált szervek egymás utáni kibontakozásának értelmezte. A tézist átvitte a természetben zajló egész fejlődési folyamatra: a fejlődés az ő számára a már meglevőknek mechanikus növekedése. Ennélfogva az akkoriban formálódó *preformációs* elmélet híve volt: szerinte minden további alakulási folyamat kezdete a petében található (Leeuwenhoek meg a hímivarsejtben vélte felfedezni a „kezdetet”).

Az ugyancsak holland Nicolas Hartsoeker (1656–1725) az *emberi ondósejt* mikroszkópos megfigyelése és értelmezése alapján lelkes preformista volt: szerinte az új szervezet minden szerve preformáltan megvan a *spermiumban* („animalkulista” volt). Le is rajzolta az ondósejtben kuporgó emberkét (a „homunculus”-t).

Az itáliai orvos és költő, Francesco Redi (1626–1697) anatómiai és iatrokémiai munkássága jelentős: ő volt az elsők egyike, akik megkérdőjelezték az élők spontán keletkezésének elgondolását. 1668-ban számos kísérlettel bebizonyította, hogy üvegekbe tett rothadó anyagokból mindig a reászállókkal azonos legyek keletkeznek; míg ha az üvegeket vászonnal lekötözte, akkor belőlük sohasem bújnak elő legyek. Ezzel igazolta Harvey állítását: a legyek is petéből lesznek és nem a bomló anyagokból – kísérlete az első cáfolata az *ősnemződésnek*. Az ősnemződés tanának hívei továbbra is ragaszkodtak ahhoz, hogy – bár bonyolult szervezetek nem, de – mikroorganizmusok keletkezhetnek nem élő anyagokból.

7. Növényi szexualitás és az élőlények osztályozása

1694-ban Rudolf Jakob Kamerer (Camerarius), a tübingeni egyetem tanára – felhasználva Grew 12 évvel korábbi növényanatómiai vizsgálatait – kísérleteivel véglegesen bizonyította a *növények szexualitását és ivaros szaporodását*; és ezzel jelentősen hozzájárult a szaporodás jelenségeinek megismeréséhez.

Egyébként a XVII. és a XVIII. század biológiai ismereteit még az élőlények rendszerezése és osztályozása uralta. A XVII. század fordulóján élt Caspar Bauhin (1560–1624) francia származású svájci anatómus és botanikus volt az egyik rendszerező. Akárcsak az anatómiában, a növénytanban is a nevezéktan és a rendszertan egyértelműségére és pontosságára törekedett. Kereken 6 ezer akkor ismert növényfajt írt le pontos diagnózissal; a füveskönyvekben eltérő megnevezésekkel leírt növényeket egymással próbálta azonosítani. Fáradozott egy természetes rendszer kidolgozásán is. A növények társneveit megállapítva megközelítette a faj fogalmát, a leírásai pedig a faji diagnózisokat. *Először különböztette meg a nemzetséget és a fajt a megnevezésben is*; a modern nevezéktanhoz már nagyban hasonló kettős névből álló elnevezésrendszert használt. A nemzetségnév azonban még csak valamiféle hasonlóság alapján összevont csoport neve volt; Bauhin még nem gondolkodott a rokonságon. Növényteni fő műve,

az 1623-ban publikált „*Pinax theatri botanici*”, a Linné előtti kor legkiemelkedőbb botanikai munkája. Növénynevei csaknem egy évszázadon át használatban voltak; Linné is sokat megtartott belőlük. A tudományos utazásai során gyűjtött növényekből igen értékes herbárium állt össze. Egyébként leírta a vékony- és a vastagbél határán található záróizomgyűrűt, az *ileo-kolikus szfinktert* (amit róla neveztek el „Bauhin-szelep”-nek).

Ebben a korban ismerték fel az állatok és a növények összehasonlító kutatásának fontosságát is.

A már említett Thomas Willis az összehasonlító anatómiai vizsgálatok alapján jutott arra a gondolatra, hogy az egész *állatvilág osztályozása* számára egységes kritériumokat kellene alkalmazni. Megpróbált analógiákat megállapítani a gerincesek és a rákok testfelépítése között: az előbbiekben belső, az utóbbiakban külső váz van; a gerincesekben az izomzat a vázra rögzült, a rákokban viszont a váz alá; a gerincesek idegrendszere háti elhelyezkedésű, míg a gerincteleneké hasi. E „fordított” struktúra miatt mozognak a rákok visszafelé. (A gerinctelenek és a gerincesek testfelépítésének analóg összehasonlítását majdnem 200 évvel később Geoffroy de St. Hilaire próbálta meg ismét.)

A XVII. század közepe tájának jelentős növénymorfológusa volt Joachim Jung(ius) (1587–1657) német matematikus és természetbúvár. A helstedti egyetemen fűvészkertet hozott létre, ahol a növényeket alaposan megfigyelte. Foglalkozott a *növények alaktanáival* (tőle ered pl. az „ernyő”, a „füzér”, a „buga” a „sátor” elnevezés a növények virágzati típusaira), a növények *rendszerezésével* és általában a rendszerekbe *osztályozás alapelveivel* (ezeket először a tanítványai publikálták 1678-ban).

A XVII. század végének és a XVIII. század elejének szisztematikusa volt a Cambridge-ben tanult angol természetbúvár, John Ray (1627–1705). 1663 és 1666 között az állattan iránt érdeklődő egyetemista F. Willoughby-vel beutazta az európai kontinenst (Hollandia, Dél-Németország, Svájc, Itália, Szicília, Málta és Dél-Franciaország) és közösen írtak egy növényi és állati természetrajzot. A háromkötetes fő növénytani mű, az 1686 és 1704 között megjelent „*Historia generalis plantarum*” (A növények általános természetrajza) több mint 18 ezer „fajt” tartalmaz (ez a század növényrendszertanának legfontosabb munkája). J. Jung(ius) munkáinak hatása alatt túlnyomórészt morfológiai jegyekre alapozta a rendszertant. A visszatérés után kizárólag ennek a feladatnak szentelte magát. Különösen érdeklődött azon ókori növénytani kompilátorok művei iránt, akik megpróbáltak valamiféle osztályozási elveket érvényesíteni. Ő maga is egységes osztályozási elveket keresett a növényekre és az állatokra; a növényi és az állati rendszerezésnek új alapokat alkotott. Az *osztályozásában* nagyon pontos nem(zetség)- és fajleírásokat használt; a leírások a *struktúrára* alapozódtak (pl. az ujjak és a fogak elrendeződésére) és a nem a virágok színére meg az élőhelyre (ezzel új és nagyon fontos koncepciót vezetett be a rendszertanban). Megpróbálkozott a *növények rendszerezésével*: „tökéletes” és „tökéletlen” főcsoportokat állapított meg, ezeket azután tovább bontotta alosztályokra a virág szerkezete, a magvak száma stb. alapján. Az első főcsoportba számította a gombákat, a májmohákat és a mohákat, a zuzmókat, a harasztokat és az algákat, de rajtuk kívül a polipokat és a szivacsokat is. A „tökéletes” növények főcsoportjába tartoztak a füvek és a fák (Theophrasztosz nyomán), és mindegyik csoportot tovább osztotta *egyszikűekre* és *kétszikűekre* (a fogalmakat ő vezette be). Ezeket aztán a levelek, a gyümölcsök és a magvak alapján egyre kisebb csoportokba osztotta (számos ma is létező, természetes csoportba). A rendszere ugyan eléggé kevert, mégis tudatosan formulázott és következetesen alkalmazott módszertani és elméleti elveken nyugodott; a „rokon növények” kifejezés pedig arra utalt, hogy hasonló növényeket egy csoportba próbált összefoglalni. Állandó

elnevezéseket alkalmazott, amikben már a nemzetség és a faj kettős neve is előfordul. A biológiai rendszerezés módszertani alapjainak kidolgozásához a *faj* fogalmáról először alkotott használható elképzelést: 1686-os művének első kötetében a „faj” hasonló szervezetek közössége, amelyek azonos magvakból keletkeznek, egymás között szaporodnak és a szülőkhöz hasonló utódaik vannak. A „faj” tehát jelenti: 1. egyedek sokaságát, 2. morfológiailag hasonló szervezeteket, 3. azt az egységet, ami a természetben önállóan szaporodik. (Ettől kezdve a „faj” az ugyanolyan módon szerveződötteknek a nemzedékek során való állandó keletkezésének fogalmát jelenti egyrészt, másrészt pedig egy osztályozási kritériummá válik. Ezzel először kezdődött meg egy rendszer „alulról felfelé” felépítése – ami lényeges előrelépés az elődeihez képest.) Az 1693-ban Londonban kiadott „*Synopsis animalium quadrupedum et serpentinum*” (A négy lábú és csúszómászó állatok áttekintése) című munkája állati természetrajz és rendszertan. Az *állatok rendszerezésében* szintén a morfológia a döntő; a beosztásban még fellelhetők Arisztotelész gondolatai. Az állatvilág két fő csoportja: a „vérrel bírók” és a „vértelenek”. Az elsőbe tartozók lehetnek tüdővel vagy kopolytúval lélegzők. A tüdővel lélegzők 2 vagy 1 kamrás szívűek; ez utóbbiakhoz tartoznak a hüllők. A 2 kamrás szívvel bírók lehetnek szőrrel élve születők (négy lábúak) és tollakkal bíró élve születők (madarak); meghatározatlan besorolásúak a vérrel bírók között a bálnák; kopolytúval lélegzők a halak. A vérrel nem rendelkezők lehetnek „nagy” vagy „kis” állatok; az utóbbiak a rovarok; az előbbieket a puhatestűek, a rákok és a héjas állatok.

Eddig a legtöbb taxonómus a rendszerét úgy állította fel, hogy az összes ismert szervezetet egyre kisebb csoportokba osztotta be fölülről kezdve, aztán a csoportokat osztotta tovább egyre kisebb csoportokba. (Ezekről eltérően Carl Linné svéd botanikus és taxonómus a *fajjal* kezdte, és ezeket szervezte nagyobb csoportokba vagy nemzetségekbe, aztán az analóg nemzetségeket családokba egyesítette, a rokon családokat rendekbe, az utóbbiakat meg osztályokba sorolta „*Systema Naturae*” című művében 1735-ben.)

Jelentős növényrendszertani munka volt Joseph Pitton de Tourneforté (1656–1708), a francia botanikusé, aki 1683-tól volt a Jardin des Plantes (Királyi Botanikus kert) professzora. Sok gyűjtőúton vett részt, többfelé Franciaországban, Spanyolországban, Portugáliában, Hollandiában és Angliában. 1694-ben Párizsban megjelent kilenckötetes „*Éléments de botanique ou méthode pour connaître les plantes*” (A növénytan elemei, avagy a növények megismerésének módszere) című munkájában számos új növényi fajt írt le, és egy új növényi rendszert állított fel a virágzat alapján. Jól elhatárolta egymástól a *fajokat* és a *nemeket*. A nemeket pontosan definiálta és diagnózisokkal látta el; a fajokat először Theophrasztosz nagy csoportjaiba osztotta, és minden egyes csoporton belül aztán a *virágzat* természete szerint osztályozta tovább. Megfigyelt egyszerű és összetett virágzatot, figyelembe vette a virágtakaró leveleket, a virágzat szabályosságát és elágazásos növekedését. (Számos jó illusztrációja és könnyű kezelhetősége miatt rendszere széles körben elterjedt; a növények meghatározásánál nagyon kedvelték.)

Az összehasonlító szemlélet egyik első képviselője volt a XVII. és a XVIII. század fordulóján az anatómus Edward Tyson (1651–1708) angol orvos, aki a még nem felnőtt *csimpánz* anatómiáját tanulmányozta nagy részletességgel és összevetette azt az emberével (1699). Más főemlősöket is vizsgálva világosan fölismerte a hasonlóságokat ezen állatok és az ember között, de helyesen ismerte fel a különbségeket is. Jelentős volt a közreműködése a *fizikai antropológiához* és – közel két évszázaddal Darwin előtt – rámutatott az ember és a főemlősök közti valamiféle rokonsági viszony létezésére. Jelentősen hozzájárult még a *cetek*, a *hüllők*, az *erszényesek* és a *főemlősök összehasonlító anatómiájához*; tanulmányozta a *galandférgereket* és az *orsóférgereket*. Az *ősnemződés* felfogása ellen fordult. Feltételezte, hogy az *emberi* embrió is *petéből* képződik.

F) A tudományos kémia kialakulásának kezdetei

Varga Miklós

1. Bevezetés

Az újkori kémia történetét tárgyaló fejezeteinkben – részben a terjedelem szabta korlátok miatt is – csupán arra törekszünk, hogy néhány fontos alapfogalom, illetve elmélet kialakulásának, fejlődésének legfontosabb tényezőit elemezzük. Ezért csak vázlatosan utalunk az eseménytörténetre, de megnevezzük mindazokat a könnyen hozzáférhető forrásmunkákat, amelyek megkönnyítik a történeti tényanyag területén való tájékozódást. Ismeretes, hogy a kémia, más szaktudományokkal összehasonlítva, viszonylag későn jutott el a fejlődésnek arra a szakaszára, amelytől kezdődően tudományos kémiáról beszélhetünk. Ennek egyik oka feltétlenül az, hogy a kémiai folyamatok, jelenségek egyszerű, vizuális megfigyeléséből az esetek többségében csak rendkívül áttételesen következtethetünk azok lényegére, sőt a látszat több esetben tévútra is vezeti a megfigyelőt. Nézzünk néhány konkrét példát. Kimutatható, hogy az arisztotelészi elemtan még a XIX. század elején is számottevő hatást gyakorolt a kémiai gondolkodás fejlődésére. Hogyan lehetséges, hogy ez az alapjaiban elhibázott elképzelés hosszú évszázadokon keresztül fennmaradt és befolyásolta a tudományos gondolkodást? Gondoljunk arra, hogy a tűzi úton lejátszódó, spontán végbemenő folyamatok nagy többségénél mit figyelhettek meg elődeink? Észlelhették a lángot, esetenként légnemű anyagok felszabadulását, víz képződését, illetve földszerű anyag visszamaradását. Az arisztotelészi elemtan éppen ezen elvekre épül (föld, levegő, tűz, víz), illetve ezek átalakulását tételezi fel. De gondolhatunk pl. arra is, hogy a vizes oldatokban lejátszódó folyamatok nagy többségénél is – ha csak nincsen csapadékképződés, színváltozás – a megfigyelő semmiféle változást nem észlelhet. Bizonyos, hogy ezek a körülmények szerepet játszottak abban, hogy a megismerési folyamat során viszonylag hosszú időre volt szükségünk, amíg a látszat, vagy a járulékos jelenségek megfigyelésétől az alapvető fogalmakig, elméletekig eljuthattunk. Összehasonlításként talán érdemes megjegyezni, hogy a XVI. században Kopernikusz számára az égitestek mozgásának vizuális megfigyelése és egy még nagyon pontatlanul definiált erőfogalom lényegében elégséges volt ahhoz, hogy heliocentrikus elméletét megalkossa és ezzel alapvető változást idézzen elő az égi mechanika fejlődésében. Ahhoz, hogy a kémia a fejlődés hasonló szintjére eljusson, legalábbis arra volt szükség, hogy Lavoisier működése nyomán létrejöjjön az első használható elemdefiníció. Ez pedig, mint tudjuk, csak a XVIII. század utolsó harmadában következett be, alapját képezve a kémiai atomelmélet későbbi, daltoni megfogalmazásának. A továbbiak jobb megértése érdekében tekintsük át röviden, milyen örökségre támaszkodhatott a kémia az újkor hajnalán.

2. Mesterségbeli tudás, anyagismeret

Az újkori kémia kialakulásában és további fejlődésében komoly szerepet játszott az évszázadok, sőt évezredek alatt felhalmozott tapasztalati anyag, amelyet mesterségbeli tudásnak nevezhetünk. Ismeretes, hogy az emberiség igen hosszú idő óta alkalmazott számos olyan eljárást, műveletet, melyeknek alapját lényegében kémiai folyamatok képezték. Feltehető pl., hogy éppen a bevezetésben említett, tűzi úton végbemenő változások megfigyelése, majd reprodukálása vezetett a fémkohászati ismeretek kialakulásához és bizonyos fémek előállításához (1. táblázat) vagy a kerámiai és az üvegyipar kialakulásához is. Az utóbbiakról tárgyi emlékek tanúskodnak. Érdemes megemlíteni, hogy az ókori Egyiptomban már az üveg hengerlésének műveletét is

ismerték. Tárgyi bizonyítékaink vannak arra is, hogy ugyanebben az időszakban kozmetikai szereket és több természetes színezéket is előállítottak, illetve izoláltak (indigó, bíbor, alizarin). Ismertek számos élelmiszer-tartósító eljárást, és felhasználták az alkoholos és tejsavas erjesztés folyamatát is. Tudjuk, hogy ismerték a desztilláció műveletét. Meglepő magas fejlettségi szintet értek el azok a technikák, amelyek segítségével természetes anyagokból bizonyos hasznos hatóanyagokat vontak ki. Részben ezekre az ismeretekre épült a iatrokémia – kémiai anyagok orvosi célokra történő alkalmazását jelentette –, amely egyúttal jelentősen tovább is fejlesztette az anyagelválasztási folyamatok módszereit. Érdekes tény, hogy már a korai középkorban alkalmazták pl. a vízgőz-desztillációt, magas forráspontú növényi hatóanyagok elkülönítésére. Hasonló irányban hatottak a sajnos kevésbé békés célú társadalmi igények is. A fekete lőpor európai felfedezése és haditechnikai alkalmazása kétségtelenül előmozdította pl. a bepárlás és kristályosítás műveleteinek fejlesztését. Erre azért volt szükség, mert az ásványi eredetű káliumnitrátot tisztítani kellett, de ugyanilyen célból állítottak elő igen tiszta ként is, az olvadék szublimációja révén. Itt szeretnénk rámutatni egy sajnos meglehetősen elterjedt tudománytörténeti tévedésre. Azt az igen hosszú időszakot, amelyet a mesterségbeli tudás továbbélése és halmozódása jellemzett, nem tekinthetjük úgy, mint a tapasztalati ismeretek spontán halmozódásának szakaszait, amelyet semmiféle elmélet nem irányított. Részben e tévedés eloszlására, részben pedig azért, hogy világosan lássuk; a mesterségbeli tudás jórészt az alkímisták tevékenységének eredményeként alakult ki. Nézzük meg vázlatosan az alkímia korának főbb szakaszait.

1. táblázat – A fémekkel kapcsolatos kémiai műveletek

Aranymosás hordalékból Réz redukciója fémekből olvasztással Kőolaj bányászata és használata	a feljegyzett civilizációk előtt
Ón redukciója ércekből olvasztással Bronz készítése Vas redukciója ércekből olvasztással Szóda bányászata és használata	i. e. 3500-ig
Arany redukciója dúsítással	i. e. 2500-ig
Ezüst redukciója ércekből olvasztással Ólom redukciója ércekből olvasztással Ezüst elválasztása az ólomtól kupellációval	i. e. 2000-ig
Fujtató használata a kemencékhez	i. e. 1500-ig
Acélgyártás	i. e. 1000-ig
Nem nemesfémek elválasztása ércekből vizes dúsítással Aranyfinomítás kupellációval Ólom kiválasztása szulfidásványaiából	i. e. 500-ig
Higany redukciója ércekből	i. e. 400-ig
Ólomfehér készítés ecettel Próbakő ismerete az arany és ezüst meghatározásához	i. e. 300-ig
Higany redukciója ércekből desztillációval Ezüst elválasztása aranytól sóval történő cementációval Sárgarézt készítése réz és kalamín cementációjával Cinkoxid kinyerése a kohófüsből Antimon redukciója ércekből olvasztással (véletlenül) Arany visszanyerése amalgamozással Réz finomítása ismételt összeolvasztással Réz kohászata szulfidércekből Vitriol (kék és zöld) gyártása Timsó gyártása	középkor kezdetéig

3. Az alkímia kora

Az alkímia története három nagyobb korszakot foglal magában: a hellén, az arab és a latin alkímia korát. Hellén alkímiáról az időszámításunk előtti első két századtól az időszámítást követő IV. századig, arab alkímiáról, a VIII–X. században, latin korszakról pedig a XI–XVII. században beszélhetünk. A kémiai gondolkodás fejlődését mindhárom szakaszban az jellemzi, hogy két tendencia hat: egy racionális, misztikától távolodó, s egy irracionális, misztikus-vallásos szemlélet. Az egyes periódusok elején az előbbi, a végén az utóbbi dominál. Minden egyes periódus fejlődését az zárja le, hogy gondolkodás és gyakorlat egysége – természetesen az alkímián belül létrejött, rendkívül viszonylagos „egysége” – megbomlik, a gyakorlat pusztá mesterséggé fejlődik vissza, az elmélet pedig misztikává torzul.

a) A hellén alkímia

Alexandriában alakultak ki i. e. utolsó századokban kedvező társadalmi feltételek ahhoz, hogy valóságos tudomány, elmélet és gyakorlat kölcsönhatásában fejlődő tudomány kezdeti formái jöjjenek létre.

Befejeződött az ókori matematika fejlődése (Eukleidész), a csillagászatban Ptolemaiosz matematikailag kifejtett, rendszeres leírását adta az égitestek látszólagos mozgásának, s jelentős eredmények születtek a fizikában is.

Módszertani szempontból a legfontosabb az a körülmény, hogy a spontán megfigyelést felváltotta a rendszeres kísérletezés, s a gondolkodás fejlődésének ez a szakasza még a XVII. századi tudományos gondolkodás számára is hasznos útmutatásokkal szolgált. Abban a korban azonban, amikor az alkímia kialakulása megkezdődött, Alexandriában a társadalmi feltételek már nem nyújtottak biztos alapot a tudományok további fejlődéséhez. Az alkímiát nem is tehetjük egy szintre a többi tudománnyal, jelentőségét abban látjuk, hogy a kémiában először jött létre elmélet és tapasztalás olyan egyesítési kísérlete, amely – legalábbis formáját, módszereit tekintve – bizonyos, tudományra emlékeztető jegyeket hordozott magán.

Melyek voltak e sajátságok? Ptolemaiosz rendszere egy tapasztalatilag ellenőrzött, de a látszatra alapított elmélet volt, melynek gyakorlati jelentőségét az adta, hogy jól ellátta eszközfunkcióját, lehetővé tette pl. a földrajzi helymeghatározást, naptárkészítést. A kialakuló alkímiában is az jelentette a racionális elemet, hogy hasonlóan a ptolemaioszi elmülethez, rendszerezett és magyarázott bizonyos mesterségbeli tapasztalatokat, sőt néhány egyszerű, kvalitatív előrelátást is lehetővé tett. Mindez azonban hasonlóan a ptolemaioszi elmülethez, a látszat szintjén mozgott, ezért mondjuk, hogy a kémiai gondolkodás a tudományos elméleteknek csak formális jegyeit viselte magán.

A hellén alkímia – módosítva a sztoikusok tanaival – Platón és Arisztotelész lételméletét és a fémekre, ásványokra vonatkozó nézeteit vette át. Már ezek az eszmék is – különösen Platóné – egy misztifikálódott filozófiában ágyazva jutottak el ide, s a magyarázatokba a keleti gondolkodásból származó elemek is beépültek, pl. a fémek animizálása, élőlényként való felfogása, a „mikrokozmosz” és a „makrokozmosz” törvényeinek hasonlósága stb.

Hogyan „ötvöződtek” ezen elemek az alkimisták gondolkodásában? A sztoikusok „pneuma” tanából kiindulva⁷², feltételezték, hogy a passzív anyagra egy aktív szellem hat. A fémekben az állat- és növényvilághoz hasonló folyamat játszódik le, a régi elhalása után hátramarad a mag, ami

⁷² A sztoikusok a levegőben mindent átható és irányító közeget, pneumát láttak. A későbbi alkalmazók az elméletet meglehetősen szabadon kezelve, ezt hol szellemi, hol fizikai létezővel azonosították.

életcsírát, fejlődéscsírát tartalmaz, s a benne szunnyadó életet a „pneuma” ösztönzi, hajtja változások sorozatán át a teljes kifejlődésig. A makrokozmosz-mikrokozmosz azonosságát vallva, feltételezték, hogy a földben is hasonló folyamat játszódik le, míg a fémek arannyá válnak. A mesterembereknek éppen az a feladata, hogy ezt a lassú, spontán folyamatot mesterségesen meggyorsítsák.

Hogyan kísérelték meg e folyamat megvalósítását? Az arisztotelészi anyag–forma tan önkényes, alkimista változata szerint a folyamat lényege az, hogy a fémes anyagra fel kell vinni a megfelelő formákat, s ezeket mindaddig kell cserélni, míg létrejön a végső forma. Az arisztotelészi nézetek rendkívül szabad felhasználásával, s biológiai analógiától vezetettve, első lépésnek az aranykészítésben a holt anyag, a passzív hordozó előállítását írták elő.

A folyamat eredményességének megítélésében is az anyag–forma tan szolgált kiindulásul, s a szín, a forma megjelenését figyelték, mert ezt tekintették a legfontosabb sajátosságnak. A „kísérletek” során tehát először színétől fosztották meg az anyagot, „holttá tették”, ezt pl. oxidálással érték el, vagy kénnel hevítve szulfidréteget állítottak elő a fém felületén. Ez volt a „feketítés” művelete. A második lépésben a „kevésbé tökéletes” ezüstöt állították elő, a fehérítés műveletével, amelyet pl. arzén hozzáadásával értek el, majd következett a „sárgítás”, ezt nátrium-poliszulfid oldattal végezték. A folyamatot rendszerint egy negyedik lépés, a tökéletes aranyszín előállítása zárta le.

Ekkor – a növényi magvak növekedésének feltételeit utánozva – melegítették és különféle „vizekkel” kezelték a fémet. Miután az utánzási folyamat eredményét az ebben a korban használatos ellenőrzési eszközökkel gyakorlatilag nem lehetett megkülönböztetni a tiszta aranytól, úgy tekintették, hogy sikerült aranyat előállítaniuk.

Jól láthatjuk tehát, hogy az alkímia nézetrendszerében a filozófiai kiindulópontoknak alapvető jelentősége volt. Korábban – pl. az egyiptomi mesteremberek – éppúgy elő tudtak állítani aranszerű ötvözeteket, vagy sikerrel színezték aranyszínűre különböző anyagokat, mint a későbbi alkímisták. Őket azonban az empiria szintjén maradó, józan értelem jellemezte, tudták, hogy aranyutánzatot csinálnak. Az alkímisták számára viszont a platóni, arisztotelészi filozófia „elméleti” alapot adott arra, hogy ezt a tevékenységet úgy fogták fel, mint valóságosan az arany előállításához vezető folyamatot, lévén az arany más fémektől nem „anyagában”; hanem „formájában” különböző, a „formát” pedig elő tudták állítani.

Az i. sz. IV. századra tehető a hellén alkímia felbomlása. Ezután a „teoretikusok” megvetéssel nézték a „szakácskodókat”, akik nem értették meg, hogy az alkímia, a fémek tökéletesedése tulajdonképpen szimbolikus jelentésű, a lélek tökéletesedését jelképezi, s az „igazi” alkimista az egész alkímiai folyamatot a lelkében játszhatja le.

b) Arab alkímia

Az alkímia fejlődésének következő szakasza az arab hódítások után kezdődik. Az alexandriai iskola mellett kialakulására erős befolyást gyakoroltak indiai és kínai hatások is. Ezt a korszakot számos racionális törekvés jellemzi, jórészt az orvosi gyakorlat szükségletei nyomán. Említésre méltó, hogy több szempontból is megkísérelték továbbfejleszteni az arisztotelészi elemfelfogást. Fontos dokumentum a IX. századból származó *Jabir Corpus* (ez egy Dzsabir nevű, többé-kevésbé legendás alakról elnevezett enciklopédia). (Nézzük át röviden a dzsabiri anyagfelfogást. Láttuk, hogy az arisztotelészi anyag–forma tan alapján álló, hellén alkímistáknál a forma tulajdonság, jelenség, pontosabban tulajdonságösszesség volt csupán. A *Jabir Corpus* azonban a tulajdonságot dologként fogja fel, mely elválasztható az eredeti anyagtól, önállóan előállítható. Eszerint az ún.

alaptulajdonságok konkrét dolgok, s ezek meghatározott aránya jellemző az anyagokra. Ugyanebből a műből tűnik ki, hogy az arisztotelészi minőségtant érdekes módon továbbfejlesztették. Dzsabir szerint a fémek mind a négy alaptulajdonságot tartalmazzák, ebből kettő a külső sajátosságokat adja, kettő pedig rejtve marad. Aranykészítéskor az „elixír segítségével” e rejtett tulajdonságokat kell a felszínre hozni.)

Az alkímista feladata tehát a következő:

1. Elő kell állítani ezeket a dolgokat, mint „tisztá” természetet;
2. Meg kell határozni „helyes” arányukat;
3. A gyakorlatban is elő kell állítani „helyes” kombinációikat.

Ebből a korszakból származik az arisztotelészi elemtan egy másik kiegészítése is, amely a továbbiakban jelentős hatást gyakorolt a kémiai gondolkodásra. Az arab alkímisták úgy vélték, hogy fel kell venni az elemek sorába a higanyt és a kén is. Ezeket az anyagokat úgy tekintették, mint bizonyos alapvető tulajdonságok hordozóit, amelyekből különböző fémek különböző mértékben részesednek. A higany a fémes fényt, az alakváltozásra való hajlamot, a kén az éghetőséget, a merevséget hordozta. Bizonyos, hogy ez az elképzelés spontán megfigyeléseken alapult, mivel a Közel-Keleten meglehetősen gyakoriak a higany oxidos és szulfidos felszíni előfordulásai. Tudjuk, hogy ezek az anyagok viszonylag alacsony hőmérsékleten (400–500 °C között) termikusan elbomlanak, amelynek nyomán közvetlenül lehet észlelni a fémhigany és a kén megjelenését.

Érdeemes végezetül idézni Ibn Sina (Avicenna) kritikai megjegyzéseit e kor gondolkodásmódjáról.

„Világosan meg kell érteniük az alkímistáknak, hogy nincs hatalmukban változtatást előidézni a fajtákban. Képesek azonban kitűnő imitációkat alkotni ... s képesek az ezüstöt a legtöbb tisztátalanságától megszabadítani. Mégis ezekben (a színezett fémekben) a lényegi természet változatlan maradt, s ezt csupán elfeledték az előidézett tulajdonságokkal.”

„Azok a tulajdonságok, amelyeket érzékelünk, valószínűleg nem azok, amelyek a fémeket fajtákra osztják, hanem inkább véletlenszerűek, vagy következmények, a (fémek) specifikus különbségei pedig ismeretlenek. S ha egy dolog ismeretlen, hogyan lehetséges annak elpusztítására vagy megalkotására törekedni? Valószínű, hogy a számításba vett fémek lényegét alkotó elemek aránya minden egyes esetben különböző. Ha ez így van, akkor egy fém nem alakítható át egy másikká úgy, hogy e vegyületet szétörjük, és ezután alakítjuk ki a kívánt összetételt. Egy fém átalakítása nem hozható létre pusztán egyesítéssel. Sokat tudtam volna még e tárgyról elmondani, de kevés a haszna, s semmi szükség rá.”

Ibn Sina tehát nem hajlandó az imitációs folyamatnak az aranycsináláshoz vezető út jelentését tulajdonítani. Igen figyelemreméltó az az érve, hogy a fémek természete változatlan maradt, s ezt csupán elfedték az előidézett tulajdonságok. E megfogalmazás, úgy véljük, azért jelentős, mert a látszat meghaladásának igényét mutatja. Helyesen mutat rá erre, azonban az arisztotelészi filozófiai kiindulópontok nem teszik lehetővé a viszonylagos szubsztancialitás megragadását, erre

csak később, bár éppen abszolutizált formában a kémiai elemtan és az atomizmus segítségével kerül sor. Jól látja Ibn Sina az alkímisták elméletének egy konkrét belső ellentmondását is.

Ha az alkímia elmélete szerint minden dolgot a tulajdonságok (összetevők) meghatározott aránya alkot, akkor az imitáció technikája – mely az „aranytermészetet” lépésenként, additív módon viszi fel a fémre – szükségképpen hamis. Ibn Sina nézeteit kétségtelenül befolyásolta az a körülmény, hogy gyakorlatiasan gondolkodó orvos volt, nem fűzte különösebb érdek az aranykészítéshez.

Az arab alkímia fejlődésének egy külső társadalmi folyamat vetett véget. A mozlím világban a „szunnita” mozgalom győzelme lehetetlenné tette a racionális gondolkodást, szélsőséges, fanatikus vallásos nézetek terjedtek el. Az alkímia szimbolista ága viszont „felvirágzott”.

c) A latin alkímia

Az alkímiai ismeretek részben a mórok közvetítésével jutottak el Spanyolországon át Európába, részben Bizáncon keresztül, és az arisztotelészi, illetve a hellén és arab művek lefordítása révén terjedtek. A fejlődés feltételeit a különböző kémiai anyagok és a racionálisabb keresztény műveltség⁷³ iránti igény hozta létre. Erősen befolyásolta a gondolkodást, hogy a keresztény egyházatyák a XII–XIII. században felülvizsgálták és összefoglalták az alkímiai elméleti tudást.

Ezekkel a kérdésekkel elsősorban azért foglalkoztak, mert a keresztény gondolkodók, szintetizálva koruk műveltségét, egységes világkép alkotására törekedtek. Ennek érdekében felhasználták Arisztotelész és Platón számos filozófiai gondolatát. (Így pl. Arisztotelész cél-oksági, teleologikus mozgáseméletét, a „formák formájának” létezését feltételező gondolatait stb.)

Általában hamisnak nyilvánították az animista, mágikus mítoszokat, s bizonyos kritika jelent meg az aranycsinálás lehetőségével kapcsolatban is. Úgy ítélték meg, hogy a siker feltételei még nem eléggé biztosítottak, az egyes leírások nem kellően konkretizáltak. Nem vonták azonban kétségbe a folyamat megvalósíthatóságát, úgy fogták fel, mint egy lehetséges természeti jelenséget. Nyilvánvaló, hogy amíg az arisztotelészi lételméletet érvényesnek tekintették, addig fel kellett tételezni az elemek kölcsönös átalakulása, azaz a transzmutáció lehetőségét is. Kritikájuk ezért az alkímia sarlatánjai ellen irányult, de nem az alapvető célkitűzések ellen. Mai szóhasználatnál élve, az elem-átalakítás lehetősége e korban szinte paradigmává vált, az említett filozófiai elvek hatása miatt.

A gyakorlati tevékenység és az elméleti gondolkodás közeledésének feltételei csak akkor kezdtek érlelődni, amikor a társadalmi fejlődés alapvetően új, reális igényeket támasztott a kémiával szemben.

4. XVI–XVII. század

A középkort tehát jellemezte az alkímia uralma. Bár a kémiai magyarázatok szükségszerűen misztifikálódtak az irreális célkitűzés és a hamis elvi alapok miatt, de a tengernyi erőfeszítés az

⁷³ Endrei Walter a „*Középkor technikai forradalma*” című könyvében (Magvető Kiadó, Budapest, 1978) érdekes gondolatokat fejteget ezzel kapcsolatban. Rámutat, hogy komoly szemléletbeli különbség tapasztalható a nyugat-európai és keleti (bizánci) keresztény kultúrák között, s nem lehet véletlen, hogy a „laborare est orare” jelszó csak nyugaton keletkezhetett, ahol a hangsúly inkább a gyakorlaton volt, nem pedig a szemlélődésen. A nyugat-európai keresztény kolostorokban általában önellátásra rendezkedtek be – pl. ciszterciák, karthauziak – és komoly mezőgazdasági, kézműipari tevékenységet is folytattak, amelynek során számos figyelemre méltó technikai, technológiai újítást vezettek be.

aranycsinálás titkának megfejtésére az anyagismeret növekedését eredményezte. Nagyon helyesen ítélte meg F. Bacon a XVII. század elején az alkímia ellentmondásos szerepét:

„Az alkímia létjogosultságát el kell ismernünk. A mellé a gazdaember mellé helyezhetjük, akiről Ezópusz írta tanítómeséjében, hogy amikor haldoklott, megmondta fiainak, hogy szőlőskertjében elásva aranykincset hagy rájuk. A fiúk felásták az egész kertet, aranyra azonban nem találtak, de mivel felásták és megforgatták a termőtalajt a szőlő gyökerei körül, a következő évben gazdag termésük lett.”

Visszatérve az alkímiát tárgyaló előző pontban említett elvi problémára, az alkímia története is világosan mutatja, hogy a kémia történetében nem különíthetünk el olyan időszakokat, amelyeket a tapasztalati ismeretek spontán halmozódása jellemez. Mind a tapasztalatok gyűjtését, mind a belőlük levonható következtetéseket alapvetően meghatározták a mindvégig ható elméletek és előfeltevések. Más kérdés, hogy ezek irracionálisak, eredetük sok esetben homályos és természetesen nem felelnek meg azon kritériumoknak sem, amelyeket ma a tudományos elmélettel szemben támasztunk.⁷⁴

Az alkímia misztikus célkitűzéseivel és magyarázó módszereivel való szakítás a kémia céljának és elméletének átalakítását követelte meg. Azok közül, akik a XVI. században a kémiának új célokat és módszereket jelöltek ki, különösen jelentős Agricola munkássága, aki a kémiát a metallurgia kiszolgálójaként, szolgálójaként fogta fel, és mindenekelőtt Paracelsuszé, aki a kémia feladatát az orvostan kiszolgálásában látta. Leírták pl. különböző, gyógyszerként használatos anyagok tulajdonságait. Az adott korban ez rendkívül jelentős volt. A tapasztalatok egymás után következő felsorolása módszertanilag óriási eredmény a korábbi évszázadok egyoldalúan deduktív, spekulatív gondolkodásmódjához képest. Fokozatosan nyert tehát teret az a nézet, hogy a kémia alkalmazott mesterség.

Mindez nem jelentette azt, hogy az alkímia egy csapásra megszűnt. A kémia céljáról alkotott két felfogás hosszú ideig egymás mellett létezett, de egyre inkább előtérbe kerültek a reális célkitűzések, az e céloknak megfelelő racionális tevékenység, s a kémia ezért nem zuhant vissza a terméktelen misztikába, mint az alexandriai korszak lezáródása után. E fejlődési folyamat azt eredményezte, hogy a XVII. század elejére a legtöbb kémikus olyan mesterségként kezelte a kémiát, melynek fő feladata az orvostudomány vagy a metallurgia kiszolgálása.

Az említett pozitív tendencia ellenére a kémiai tevékenység a XVII. században olyan szűk keretek között maradt, amelyek nem készítették arra a kémiát, hogy része legyen az új világkép kidolgozásának. (Gondoljunk pl. a korabeli mechanika vagy csillagászat fejlettségi szintjére és ennek kultúrtörténeti hatásaira!)

Irodalom

- BELL, E. T. *The Development of Mathematics*. McGraw Hill, New York–London. 1945.
BENNETT, J. A. *The Divided Circle: a History of Instruments for Astronomy and Navigation*. Oxford. 1987.
BILINSKI, Br. *Il pitagorismo di Niccolo Copernico*. Wroclaw. 1977.
BLUMENBERG, Hans. *Die Genesis der koperkanischen Welt*. Suhrkamp, Frankfurt am Main. 1985.
BOYER, C. B. és MERZBACH, U. Z. *A History of Mathematics*. John Wiley and Sons. 1989.

⁷⁴ M. Wartofsky: *A tudományos gondolkodás fogalmi alapjai* (Gondolat, Budapest, 1976).

- BRUNO, Giordano. *Két párbeszéd*. Magyar Helikon, Budapest. 1972.
- CASPAR, Max. *Bibliographia Kepleriana*. Beck, München. 1936. 1968.
- COPERNICUS. *Three Copernican Treatises*. New York. 1971.
- COPERNICUS. *Commentariolus*. Proc. Am. Phil. Soc. 117. 1973.
- COPERNICUS. *Complete Works*, Vol. 1. The Manuscript of On the Revolutions. Macmillan, London, Warsaw, Cracow. 1972.
- COPERNICUS. *Die Kreisbewegungen der Weltkörper*. (De Revolutionibus Orbium Caelestium). Erstes Buch (Latin-német kétnyelvű kiadás). Akademie, Berlin. 1959.
- COPERNICUS. *Gesamtausgabe II.: De Revolutionibus. Kritischer Text*. Gerstenberg Verlag, Hildesheim. 1984.
- COPERNICUS. *On the Revolutions*. McMillan, London. 1978.
- COPERNICUS. *The Great Books of the Western World* 16. Ptolemy, Copernicus, Kepler. Chicago. 1952.
- DONAHUE, W. D. Kepler's First Thoughts on Oval Orbits. *Journ. for the Hist. of Astronomy* 24. 1993.
- DONAHUE, W. D. Kepler's Invention of the Second Planetary Law. *The Brit. Journ. for the Hist. of Science* 27 Part 1, No 92. 1994.
- DREYER, J. L. E. *A History of Astronomy from Thales to Kepler (Second Edition)*. Dover Publication. 1953.
- DREYER, J. L. E. *Tycho de Brache*. Adam and Charles Black, Edinburgh. 1890.
- DUHEM, P. *Le système du monde*. Hermann, Paris. 1913–1959.
- DUHEM, P. *Medieval Cosmology. Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds (Extracts from Le système du monde)*. University of Chicago Press, Chicago. 1985.
- FIELD, J. V. *Kepler's Geometrical Cosmology*. The Athlone Press, London. 1988.
- FREIESLEBEN, H. C. *Kepler als Forscher*. Darmstadt. 1970.
- FREUD, R. (szerk). *Nagy pillanatok a matematika történetében*. Gondolat, Budapest. 1981.
- GOLDSTEIN, B. R. *The Arabic Version of Ptolemy's Planetary Hypotheses*. Philadelphia. 1967.
- HALLYN, F. *La structure poétique du monde. Copernic, Kepler*. Seuil, Paris. 1987.
- HERMANOWSKI, Georg. *Nikolaus Kopernikus: zwischen Mittelalter und Neuzeit*. Styria, Graz [etc.]. 1985.
- HOYKAAS, R. The Aristotelian Background to Copernicus's Cosmology. *Journ. Hist. Astr.* 18, Part 2. 1987.
- HOYLE, F. *Nicolaus Copernicus. An Essay on his Life and Work*. Heimann, London. 1974.
- JARDIN, N. *The Significance of the Copernican Orbs*. *Journ. Hist. of Astr.* 13 Part 3. 1982.
- JUSKEVICS, A. P. *A középkori matematika története*. Gondolat, Budapest. 1982.
- KEPLER, J. Four Hundred Years. *Vistas in Astronomy* 18. 1975.
- KEPLER, J. *Gesammelte Werke*. C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München. 1938.
- KEPLER, J. *Mysterium Cosmographicum – The Secret of the Universe*. Abaris Books, New York. 1981.
- KEPLER, J. *Neue Astronomie*. Oldenburg, München. 1929.
- KEPLER, J. *Weltharmonie*. Oldenburg, München. 1931.
- KESTERN, H. *Copernicus and his World*. Roy, New York. 1946.
- KOYRÉ, Alexandre. *The Astronomical Revolution: Copernicus–Kepler–Borelli*. Methuen, London. 1973.
- KOYRÉ, A. *From the Closed World to the Infinite Universe*. The Johns Hopkins Press, Baltimore. 1957.
- KRAFT, F., Meyer, K., és Stickler, B. (hrsg.). *Internationales Kepler-Symposium*. Hildesheim, Gerstenberg. 1973.
- KUHN, T. S. *The Copernican Revolution*. Harvard Uni. Press, Cambridge, Massachusetts. 1957.
- LEAR, J. *Kepler's Dream*. Berkeley. 1965.
- MIKOLA, Sándor. *A történeti Kepler*. Atheneum, Budapest. 1908.
- MOSS, J. D. *Novelties in the Heavens: Rhetoric and Science in the Copernican Controversy*. Uni. of Chi. Press, Chicago. 1993.
- NORTH, J. D. *Horoscopes and History*. Oxford. 1986.
- ROSEN, Edward. *Copernicus and the Scientific Revolution*. Kriger, Malabar. 1984.
- ROSEN, Edward. *Three Imperial Mathematicians: Kepler Trapped Between Tycho Brache and Ursus*. Abaris Books, New York. 1986.
- RUSSELL, J. L. Kepler's Laws of Planetary Motion: 1609–1666. *Brit. Journ. for the History of Science* 2. 1964.

- SAIN, Márton. *Nincs királyi út! Matematikatörténet*. Gondolat, Budapest. 1986.
- SALIBA, G. *A Medieval Arabic reform of the Ptolemaic Lunar Model*. Journ. Hist. Astr. 20 Part 3. 1989.
- SALIBA, G. *A Sixteenth-Century Arabic Critique of Ptolemaic Astronomy*. Journ. Hist. Astr. 25 Part 1. 1994.
- SALIBA, G. *Early Arabic Critique of the Ptolemaic Cosmology*. Journ. Hist. Astr. 25 Part 2. 1994.
- SIMONYI, Károly. *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest. 1986.
- STEPHESON, B. *Kepler's Physical Astronomy*. Springer, Berlin. 1987.
- STRUICK, D. J. *A Source Book in Mathematics*. Cambridge, MA. 1969.
- SWERDLOW, N. M. és NEUGEBAUER, O. *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*. Springer, Berlin. 1984.
- T. TÓTH, Sándor és SZABÓ, Árpád. *Matematikai műveltségünk keretei. Középkor és reneszánsz*. Gondolat, Budapest. 1988.
- TATON, René és WILSON, Curtis. (eds). *Planetary Astronomy from the Renaissance to the Rise of Astrophysics. Part A: Tycho Brahe to Newton (The General History of Astronomy 2)*. Cambridge University Press, Cambridge, New York. 1989.
- TOEPLITZ, Otto. *The Calculus – A Genetic Approach*. The Univ. of Chicago Press. 1963.
- UNGURU, S. *Physics, Cosmology and Astronomy, 1300–1700*. Kluwer, Dordrecht [etc.]. 1991.
- WESTMANN, R. S. *The Copernican Achievement*. Uni. of California Press, Berkeley [etc.]. 1975.
- WILSON, C. *Kepler's Derivation of the Elliptical Path*. Isis 59. 1963.
- WOLLGAST, S. és Marx, S. *Johannes Kepler*. Köln. 1977.

V. A TUDOMÁNY A MECHANIKAI VILÁGKÉP KITERJEDÉSÉNEK ÉS FELBOMLÁSÁNAK KORÁBAN

A) Bevezetés

Szegedi Péter

Mint már többször jeleztük, a mechanikai módszer – hatalmas sikerének köszönhetően – minden természettudományos kutatásra nagy hatással volt. Ebben a fejezetben azt követjük nyomon, hogyan terjedt tovább e szemlélet a XVIII. és XIX. század folyamán. Látni fogjuk, hogy a mechanikai módon elinduló tudományok egy része a XIX. század közepe után olyan területekre érkezik, ahol az általánossá vált eszközök már nem alkalmazhatók, és ezáltal megkezdődik a világkép felbomlása. Olyan új elméletek, szemléleti keretek jönnek létre már a fizikában is – nem beszélve például a biológiáról –, amelyek több tekintetben túllépnek a mechanikán.

B) A mechanikai minta működése és meghaladása a fizikában

Szegedi Péter

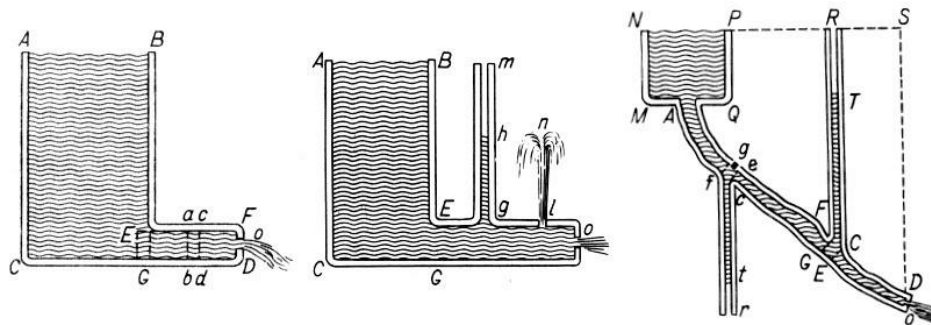
A fejezet fő céljain belül ebben az alfejezetben elsőként azt mutatjuk meg, hogyan változott a mechanika tudománya a kialakulás után, ezzel is fokozva hatékonyságát és további mintákat nyújtva a fizika többi része, valamint az egyéb természettudományok számára. Utána pedig az elektrodinamika kialakulásának történetén egy tipikus példáját vesszük annak az esetnek, amikor tisztán mechanikai analógiákból kiindulva egy tudományág önállósul és mind gyakorlat, mind elméleti, mind pedig szemléleti szempontból messze meghaladja a mechanikai paradigmát.

1. A mechanika tudományának átalakulása

A XVIII. században a mechanika megőrizte vezető szerepét a tudományban, de legalább háromféle lényeges változáson ment át. Az első a matematikai módszerek átalakulása volt. Emlékezzünk rá, hogy bár Descartes létrehozta az analitikus geometriát, és Newton a fluxiók módszerével érte el eredményeit, a XVII. század végén a fizika fő matematikai módszere a görögök óta még mindig a geometria, és a *Principia* is nagyrészt ennek nyelvén íródott. De még az általunk korábban idézett Holbach is géométerről beszél, amikor a mindent kiszámítani képes tudóst emlegeti. Nos, elsősorban, de nem kizárólag Leonhard Euler (1707–1783) svájci származású, Szt. Pétervárott és Berlinben működő matematikus munkásságának köszönhetjük, hogy ez a helyzet megváltozott, és a geometria szerepét a matematikai analízis vette át. A XVIII. században, a matematikában „az analízis századá”-ban, az „analitikus” és a „mechanikus” csaknem ugyanazt jelentette. A fizikusok matematikai analitikai, a matematikusok pedig mechanikai problémák megoldásával is foglalkoztak. A két tudományág szoros kapcsolatban fejlődött, sőt inkább azt mondhatnánk, hogy a matematika – szemben a logikával – általában természettudománynak számított, és a ma ismert diszciplináris megoszlás még nem alakult ki. Kapcsolatukat a felvilágosodás eszmerendszere hatotta át, elsősorban az ész hatékonyságába vetett hit. A felvilágosodás alapművének, az Enciklopédiának egyik fő szerkesztője (ő gondoskodott a matematikai és tudományos cikkekről,

de ő írta az első kötethez a bevezetőt is), Jean Le Rond d'Alembert (1717–1783) francia matematikus és filozófus maga is jelentősen hozzájárult a mechanika matematizálásához.

Euler eredményeinek következtében egy fizikai probléma megoldása azt jelentette, és jelenti nagyrészt ma is, hogy fel kell állítani az adott esetre Newton második törvényét egy vagy több differenciálegyenlet formájában, és ez(eke)t az egyenlet(ek)et integrálva megkapjuk a rendszer mozgását az idő függvényében. A fizikai feladatok jelentős részét így matematikai feladattá sikerült redukálni, majd az egyre finomodó analitikai módszerekkel megoldani. Az analitikus eljárás megerősítette a fizikában a newtoni módszert: a matematikai leírás érdekében minél idealizáltabb modellel kell kezdeni (tömegpont, ideális tulajdonságokkal rendelkező közeg stb.) a vizsgálatokat. Mindenki ezt a sémát kezdi követni, és fokozatosan kialakulnak a praktikus módszerek, szabályok a differenciálegyenletek felállítására és megoldására vonatkozóan.



Ábrák D. Bernoulli „Hidrodinamiká”-jából¹

A mechanika fejlődésének másik iránya, részben az említett új matematikai módszerek felhasználásával, az apparátusnak bizonyos részterületekre való, de még mindig eléggé általános alkalmazása volt, amely elvezetett a mechanikán belüli rész tudományok kialakulásához. Ilyen lett például a hidrodinamika, amely nagyrészt a neves svájci matematikus dinasztia második generációjának legkiemelkedőbb tagja, Daniel Bernoulli (1700–1782) alkotása. Tulajdonképpen implicite az energia megmaradását írja fel ideális összenyomhatatlan és súrlódásmentes folyadékok stacionárius áramlására. Az állandósult áramlási képeket megadó egyenlet kapcsolatban áll a Newton-törvényekkel, de formailag másképpen néz ki. A gyakorló fizikust az Newton-axiómákkal való összefüggése nem igazán érdekli, számára (és a későbbi idők tanulói számára is) „külön megtanulandó” képletet jelent. Ezáltal sajátos, a folyadékáramlásra vonatkozó, elmélet jön létre, sajátos egyenlet-felállítási és megoldási stratégiákkal. Önállósul ezen a módon egy tudományág, „szakértői” keletkeznek, akik speciálisan a Bernoulli-tétel (és később a Navier–Stokes-egyenlet) különböző határfeltételek melletti megoldásában jeleskednek. Létrejön a hidrodinamikus szakma.

Ugyanígy alkalmazásként indulva önállósul az égi mechanika is, elsősorban Pierre-Simon, marquis de Laplace (1749–1827) francia tudós munkássága nyomán. Laplace ezen túl megmutatja, hogy sem a Naprendszer keletkezéséhez, sem stabil fennmaradásához nincs szükség isteni beavatkozásra, hanem levezethetőek a newtoni alapelvekből. Annak ellenére, hogy tehát Newton teológiai álláspontjai kevésbé érvényesülnek, csaknem a XX. századig magát a csillagászat fejlődését is nagyban meghatározza a newtoni mechanika befolyása.

¹ Bernoulli: *Hydrodynamica, sive de viribus et notibus fluidorum commentarii* (Argentorati, 1738).

A harmadik irány az előző kettő kombinációjaként, tehát egyrészt a matematikai módszerek keresése, másrészt bizonyos alkalmazások (például pontrendszerek) révén jön létre. Ez az irány vezet el a mechanika úgynevezett „elvei”-nek megjelenéséhez. Az „elvek” a jelenségek lehető legszélesebb körét akarják felölelni és módszert adni kezelésükhöz. Az egyik első ilyen elv d’Alembert nevét viseli. Ő a newtoni dinamikát a jobb kezelhetőség érdekében visszaalakítja statikává, azon a módon, hogy a Newton-egyenletet egy oldalra rendezi ($F = ma \rightarrow F - ma = 0$), tagjait egyformán erőként (a második tag ún. tehetetlenségi erő) értelmezi, amelyeknek így mindig valamilyen egyensúlyáról lehet beszélni. Ezt a megfogalmazást sokszor – pl. forgó testek esetében – könnyebb alkalmazni, mint az eredetit. Az erők egyensúlyának számítására megint csak kialakul egy módszertan, amelyet az elv követői alkalmazhatnak.

A kialakuló elvek jelentősen átalakítják a mechanikát, és nagyon különböznek – sokszor szemléletileg is – az eredeti newtoni megfogalmazásoktól. Különösen vonatkozik ez az úgynevezett szélsőérték-elvekre. A legkorábbi ilyen elv egyébként nem is a mechanikából, hanem az optikából származó Fermat-elv², amely szerint két pont között a fény mindig úgy halad, hogy közben a lehető legrövidebb idő teljen el. Ennek az egyetlen egyszerű elvnek a segítségével a geometriai optika jelenségei (visszaverődés, törés, képalkotás) mind leírhatók, kiszámolhatók. A szélsőértékeket itt is, a mechanikában is, a függvényanalízis (differenciálás) segítségével lehet megkeresni. A Fermat-elv mechanikai megfelelője például „a legkisebb hatás elve”³, amely szerint a hatást (ez egy konkrét fizikai mennyiség) összegezni (integrálni) kell a rendszer lehetséges mozgásaira, és ezek közül ki kell választani azt, amelyik szélsőértéket mutat: ez lesz a ténylegesen megvalósuló mozgás.

Az ilyen típusú elvek világnézeti problémákat is felvethetnek. Míg Newtonnál az erők egyben okok, ezáltal a mozgások okságilag meghatározottak és csak magukkal a törvényekkel, illetve a világ szerkezetével kapcsolatban vethető fel a célszerűség kérdése, addig a szélsőérték-elvek kézenfekvő értelmezését jelentheti a világ célszerű jellege. Maupertuis-nél ismét meg is jelenik az arisztotelianus magyarázat, hogy a Teremtő a lehető legkisebb befektetéssel mozgatja a testeket. Míg tehát a mechanisztikus szemlélet egyfelől megteremti a lehetőséget arra, hogy Newton teológiai megfontolásaitól elszakadva, tagadják a Teremtő létét (lásd Holbach, Laplace), addig másfelől a szélsőérték-elvek még Newtonon is túlmennek, hiszen nála Isten csak a világ megalkotásában és a súrlódás kompenzálásában játszik szerepet, a szélsőérték-elvek

² Az elv Pierre de Fermat (1601–1665) francia matematikus, a számelmélet atyja nevét viseli. Fermat az analitikus geometria és az infinitezimális számítás területén is igen komoly eredményeket ért el. Az optika szinuszos törési törvényét Descartes a fény korpuszkuláris elméletéből azzal a feltevessel vezette le, hogy a fény az optikailag sűrűbb közegben gyorsabban halad. Fermat észrevette, hogy ez ellentmond annak az arisztotelianus álláspontnak, miszerint a természet mindig a legrövidebb utat választja. Ő inkább azt feltételezte, hogy a sűrűbb közegben a fény lassabban halad, és így 1660-ban bebizonyította, hogy a törési törvény megfelel „a legkisebb idő elvének”.

³ Az elv első megfogalmazója – bár az elsőség körül voltak viták, egyesek Leibniz-nek tulajdonították – Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698–1759) francia matematikus-csillagász, a newtoni mechanika nagy népszerűsítője és egyik bizonyítékának (a Föld lapultságának) beszerzője volt. Szerinte „a világegyetemben lévő összes változásban, ha felösszegezzük a testek tömegének, a megtett útnak és a sebességnek a szorzatát, akkor az a lehető legkevesebb lesz”. Az elv pontosabb megfogalmazását William Rowan Hamilton (1805–1865) ír matematikus adta meg csaknem egy évszázaddal később (ugyanabban az évben, amelyben megalkotta a kvaternióelméletet is); e szerint a dinamikai rendszerek pályái egy energiaintegrálra vonatkozó variációs probléma megoldásaiként állnak elő.

célszerűségként való értelmezése ezzel szemben megkívánja, hogy a mozgó rendszerek számára Valaki minden pillanatban kitűzze a célt, megvizsgálja a lehetséges pályákat, értékeket rendeljen hozzájuk és döntsön a továbbhaladásról. A folytatódó ideológiai vitákat azonban ellensúlyozta, hogy az ilyen (variációs) elvek rendkívül egyszerűen és hatékonyan összefoglaltak egy-egy meglehetősen széles jelenségek körét, jól használhatóak voltak, és ráadásul mindig le lehetett belőlük vezetni a Newton-féle egyenleteket.

A mechanikai kutatás említett formái körülbelül a XIX. század közepéig fejlődtek, akkorra létrejöttek azok az eredmények, amelyek akár még a XX. század modern fizikája számára is nyújtottak valamit. A fentiekén kívül Joseph-Louis Lagrange (1736–1813)⁴, Carl Friedrich Gauss (1777–1855)⁵ és természetesen Hamilton neve említhető, mint akik az elméleti mechanika legfőbb eszközeit megalkották, vagy hivatkozhatnánk Thomas Young (1773–1829) angol orvos-fizikusra, aki – a fény hullámméletténe megalapozása mellett – a rugalmasságtant kidolgozta. Eddigre lényegében pontosan tisztázódnak a mechanika olyan ma is használt alapfogalmai, mint az impulzus, az erő, a potenciál, az energia; világosan megfogalmazódik a mechanikai energia megmaradásának elve. Mindezek a fejlemények egyre inkább lehetőséget adnak a mechanikán kívüli általánosabb értelmezésre is. Maga a mechanika pedig ezután fokozatosan alkalmazott tudománnyá, a mérnökök tevékenységévé vált.

2. Az elektrodinamika kibontakozása

A mechanikai minta követésének és egyben a mechanika meghaladásának talán legszebb példája az elektromágnességtan fejlődése. Az elektromosság és mágnesség tanulmányozása Newton előtt meglehetősen esetlegesen, kezdetleges szinten folyt, tulajdonképpen csak az alapjelenségeket ismerték. A thesszáliai Magnéziában bányászott magnetit és a borostyán (görögül elektron) vonzási tulajdonságát az ókori görögök – például Thalész – ismerték, a kínaiak pedig valószínűleg már jóval korábban az irányok megállapítására is használták a mágnest. A mágnes tulajdonságainak első kiterjedt vizsgálata Petrus Peregrinus de Maricourt francia mérnök-tudós nevéhez fűződik az 1260-as évek vége felé. Tőle származik – egy gömb alakú mágnes vizsgálatából a Földdel való analógia révén – a mágneses pólus elnevezés; ő írta le először, hogy a két pólus a mágnes kettéosztásakor is megmarad, hogy az azonosak taszítják, az ellentétesek pedig vonzzák egymást; tőle származnak az első receptek a mágnesezésre és a mágneselektron alkalmazásaira (pl. iránytűnek). A newtoni fizika előtt az elektromosság tanát William Gilbert (vagy Gylberde 1544–1603) angol királyi orvost tekintették, aki 17 éven át több mint 600 mágneses és (kisebb hányadban) dörzsöléses elektromos kísérletet végzett; legitimé tette a fizikában az elektromos vonzás és az elektromos erő fogalmát; azzal magyarázta az iránytű beállítását, hogy a Föld egy nagy mágnes. Megállapította, hogy a mágneses és elektromos jelenség abban is különbözik egymástól, hogy míg az előbbi nem érzékeny az egymást vonzó vagy taszító testek között lévő más testekre, addig az utóbbi igen. Az elektromos töltés és tér mai fogalmainak előképei nála valamiféle folyadékok, folytonos közegek alakjában jelentek meg.

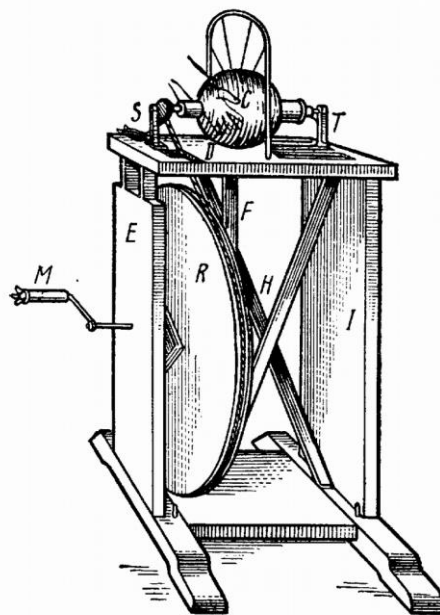
⁴ Született Giuseppe Luigi Lagrangia olasz–francia matematikus a számelmélet, az analitikus és égi mechanika területén ért el jelentős eredményeket. Szintetizálta a Newton utáni száz év mechanikai eredményeit, neki köszönhetjük az „általánosított koordináták” fogalmát és a Lagrange-egyenletet, amelyek átvezetnek a XX. század fizikájába is.

⁵ A német matematikus a mechanika – majd az elektrodinamika – fejlődéséhez elsősorban a potenciálmélet kidolgozásával járult hozzá.

A newtoni mechanika példája azonban receptet adott a természettudósok számára ennek a területnek a kezelésében is. Az elektromosságot tanulmányozó XVIII. századi kutatók szinte mind – személyesen is – Newton hatása alatt álltak. Az elektromos jelenségeket hosszú ideig mechanikai jelenségeknek (pl. folyadékáramlásnak) tartották.



Guericke eszközei



Dörzselektromos gép a XVIII. század elejéről

A kutatók első problémája – mint annyi más területen is – az volt, hogy hogyan lehet az elektromos jelenségeket stabilan létrehozni. Az ősi dörzsöléses technikát fokozatosan olyan szintre fejlesztették, amely megoldotta ezt a kérdést. A dörzsölést forgómozgással először Otto von Guericke (1602–1686) porosz mérnök-fizikus (és magdeburgi polgármester) kombinálta, aki egyik kezével egy vastengelyre rögzített rézgömböt forgatott, miközben a másik kezével dörzsölte azt. További fejlesztések után az elektromosság vizsgálata egyre népszerűbbé vált, és már tulajdonképpen nem volt annyira nehéz néhány addig ismeretlen tulajdonságot felfedezni.

Stephen Gray (1666–1736) angol vegyész 1729-ben megkísérelte a felhalmozott statikus elektromosságot elvezetni, és ez egyre nagyobb távolságokra sikerült neki, eközben azt tapasztalta, hogy kétféle anyag van, olyan, amely vezeti az elektromosságot, és olyan, amely nem.

„1729. június 30. Elmentem Otterden-Place-be Wheler úrhoz, magammal vittem egy körülbelül tizenegy hüvelyk (kb. 28 cm) hosszú és $7/8$ hüvelyk (kb. 2,2 cm) átmérőjű kis üvegrudat, néhány más szükséges dologgal, azt tervezve, hogy csupán bemutatót tartok a kísérleteimből. Az elsőt a hallba nyíló hosszú galéria ablakából végeztem körülbelül tizenhat láb (5 m) magasságból; a következőt a ház oromzatáról le az elős udvarba, huszonkilenc lábnyira (kb. 9 m); azután az óratoronyból a földszintre, ami harmincnégy láb (kb. 10 m) volt, a legnagyobb, amit el tudtunk érni: és a rúd kicsinysege ellenére a rézlapon várakozásaimon felüli vonzást és taszítást tapasztaltunk. Minthogy itt nem állt rendelkezésünkre nagy magasság, Wheler úr meg szeretne volna próbálni, hogy vajon nem tudjuk-e vízszintesen elvezetni az elektromosságot. Beszéltem neki a sikertelen kísérletemről, a használt módszerről és anyagokról. Azt javasolta, hogy egy selyemzsinórra függesszük azt, amin az elektromosság áthalad. Én azt mondtam, lehetőleg csak kicsit alkalmazzunk, hogy kevesebb erőt vigyen el a vezetékből.

Ennek megfelelően 1729. július 2-án délelőtt tízkor elvégeztünk egy kísérletet. Körülbelül négy lábra (kb. 1,2 m) a galéria végétől volt egy zsinór keresztben, amelynek a végeit a galéria két oldalán szögekkel rögzítettük; a zsinór középső része selyem volt, a többi a két végén spárta. A 80" láb (kb. 24,5 m) hosszú vezeték, amelyre az elefántcsont golyót függesztettük, és amely az elektromosságot a csőből hozzávezette, ráfektettük a keresztben lévő selyemzsinórra, úgy, hogy a golyó körülbelül 9 lábnyira (kb. 2,7 m) alatta függött. A vezeték másik végét egy hurokkal felfüggesztettük az üvegrúdra, a rézlemezt pedig a golyó alatt tartottuk egy darab fehér papíron; amikor a csövet dörzsöltük, a golyó vonzotta a rézlemezt és egy darabig fenn is tartotta.

Ez a kísérlet igen jól sikerült, de a galéria nem tette lehetővé, hogy távolabbra menjünk, ezért Wheler úr kitalált egy módszert vezetékünk hosszának növelésére, azzal, hogy egy másik keresztzsinórt helyezünk el a galéria túlsó végében; a két zsinór selyemrészére fektettünk egy olyan hosszú vezeték, hogy vissza lehetett vele fordulni, oda, ahol a golyó függött: és mivel most a vezeték mindkét vége a galériának ugyanazon az oldalán volt, vigyáztunk, hogy a cső elég távol legyen, és így ne gyakoroljon közvetlen hatást a rézlemeze, csak a vezetéken át. Azután megdörzsöltük a rudat, és a rézlemezt az elefántcsontgolyó alá tettük, az elektromosság áthaladt a vezetéken a galéria másik végébe, majd visszajött az elefántcsontgolyóhoz, amely vonzotta a rézlemezt, és ugyanúgy fenntartotta, mint korábban. A vezeték teljes hossza 147 láb (kb. 45 m) volt.

Azután azt gondoltuk, kipróbáljuk, vajon a vonzás nem erősebb-e a vezeték megduplázása vagy visszafordulása nélkül, amelyre a fészerben találtunk lehetőséget, ahol 124 láb (kb. 38 m) hosszúságot értünk el, ebből tizennégy lábnyi (kb. 4 m) merőlegesen lógott a selyemzsinórtól; most a vonzás erősebb volt, mint amikor a galérián visszafordítottuk a vezeték.

Július 3. Most a nagy üvegcsövet hoztam magammal, délelőtt tíz és tizenegy között, megint a fészerbe mentünk, és megismételtük az utoljára említett kísérletet a csóvel és a rúddal is; a vonzás azonban nem volt olyan erős, mint az előző estén, és a rúd, illetve az üvegcső által közölt vonzás közötti különbség sem volt olyan nagy, mint vártuk volna, tekintve a hosszuk és átmérőjük közti eltérést.

Ezután tovább folytattuk, annyi vezetéket hozzátéve, hogy vissza lehessen fordulni a fészér másik végéből, így a hossza 293 láb (kb. 89 m) lett; és bár ennyire meghosszabbodott, nem találtunk érzékelhető különbséget a vonzásban. Ez arra bátorított bennünket, hogy egy újabb fordulatot tegyünk; azonban amikor dörzsölni kezdtük a csövet, selyemzsinórajaink elszakadtak, mert túl gyengék voltak a vezeték súlyának hordozásához, ahogy a cső dörzsölésével megrángattuk őket. Emiatt, mivel réz- és vasdrótot is hoztam magammal, a selyem helyett kis vasdrótot tettünk fel; de az is túl gyenge volt a vezeték súlyának elviseléséhez. Ekkor a vasnál valamivel nagyobb méretű rézdrótot vettünk. Ez elbírta az vezetékünket; de bár a csövet jól megdörzsöltük, a legkisebb vonzást sem tapasztaltuk még a nagy csóvel sem. Ezáltal meggyőződünk róla, korábbi sikerünk azon múltott, hogy az vezetéket tartó zsinórok selyemből voltak, nem pedig azon, hogy kicsik, mint ahogy a próba előtt képzeltem; ugyanez a jelenség történik, amikor az elektromosságot szállító vezetéket spárga tartja; azaz amikor az effluviumok a vezetéket tartó drótokhoz vagy spárgákhoz érnek, ezek elvezetik őket a fához, amelyhez a végüket rögzítettük, és így nem mennek tovább előre a vezetéken, amely az elefántcsontgolyóhoz vinné őket.”⁶

Az elektrosztatikai vizsgálatok azt mutatták, hogy kétféle elektromosság létezik, mert az elektromos tulajdonság szempontjából az anyagok két csoportba sorolhatók. Charles François de Cisternay DuFay (1698–1739) francia vegyész 1733-ban már számos anyagot tudott felsorolni a kétféle csoportból:

„A véletlen az utamba vetett egy másik elvet, az előzőnél általánosabbat és figyelemreméltóbbat, amely új fényt vet az elektromosságra. Ez az elv az, hogy két – egymástól nagyon különböző – elektromosság van; az egyiket *üvegelektromosságnak*, a másikat *gyantaelektromosságnak* nevezem. Az első az üveg, a hegyikristály (kvarc), a drágakövek, az állati szőr, a gyapjú és sok más test elektromossága; a második a borostyáné, a kopál(gyantá)é, a gyantalakké, a selyemé, a cérnáé, a papíré és nagyszámú más anyagé. E két elektromosság jellemzője, hogy például egy *üvegelektromos* test taszítja az összes ugyanilyen elektromosságút; és ellenkezőleg, vonzza az összes *gyantaelektromosságú* testet; úgyhogy az elektromossá tett üvegcső taszítani fogja az üveget, a kvarcot, az állati szőrt és a többi, amit elektromossá tettünk, viszont vonzani fogja a selymet, a cérnát, a papírt és a többi, bár ugyanúgy tettük őket elektromossá. Ezzel szemben a borostyán vonzani fogja az elektromos üveget és az ugyanebbe az osztályba tartozó többi testet, és taszítani fogja a gyantalakkot, a kopál(gyantá)t, a selymet, a cérnát stb. Két elektromossá tett selyemszalag taszítani fogja egymást; két

⁶ *Philosophical Transactions*, 6/II (1731, megjelent 1733-ban), 6. o.

gyapjúsál ugyanezt teszi; azonban egy gyapjúsál és egy selyemsál kölcsönösen vonzani fogják egymást. Ez az elv nagyon természetes módon magyarázza meg, hogy miért ugranak el egymástól az ecset vagy seprű formájában összefogott selyem- vagy gyapjúsálak végei, ha elektromos minőségre tesznek szert. Ebből az elvből ugyanilyen könnyen levezethető nagyszámú más jelenség magyarázata. Valószínű továbbá, hogy ez az igazság elvezet majd bennünket sok más dolog felfedezéséhez is.”⁷

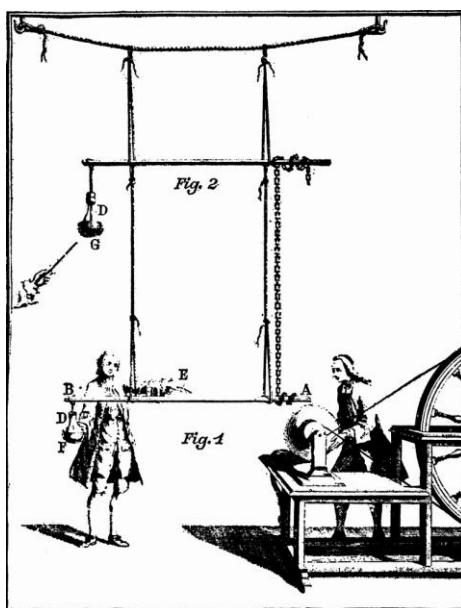
Úgy vélte, a kétféle elektromos folyadék általában egyensúlyban van, de a dörzsölés ezt az egyensúlyt megbontja.

Megtanulták az elektromosságot tárolni, amely felfedezéshez szintén a folyadékmodell vezetett el. A holland matematikus-fizikus, Pieter van Musschenbroek (1692–1761) ugyanis 1746-ban a termelt elektromosságot egy – a folyadékok tárolására szokásosan alkalmazott – palackban próbálta meg összegyűjteni, amely egyébként rettenetesen megütötte, amikor hozzáért (így a leydeni palack egyben az elektromosság fiziológiai hatásának megrázó felfedezése is volt).

„Elmondok Önnek egy új, de szörnyű kísérletet, amelyet – azt tanácsolom – ne próbáljon ki. ... Az elektromos erőt tanulmányoztam; ebből a célból két kékselyem szálra egy AB fegyvercsövet (lásd az ábrát) függesztettem, amely egy tengelye körül gyorsan forogott és közben a rátett kézzel dörzsölt üveggömb elektromosságát kapta érintkezés útján; a B másik végén szabadon lógott egy rézdrót, ennek vége egy – részben vízzel töltött – kerek D üvegpalackba vezetett, amelyet F jobb kezemben tartottam, míg az E másik kezemmel megpróbáltam szikrákat húzni a feltöltött fegyvercsőből: hirtelen az F jobb kezemet olyan heves ütés érte, hogy az az egész testemre kihatott, mintha villám csapott volna meg; a palack, bár vékony üvegből készült, általában nem törik el, és a kéz sem mozdult el a zavar következtében; de a kart és az egész testet olyan szörnyű hatás érte, hogy nem is tudom leírni: egyszóval azt hittem, hogy végem. Nagyon figyelemreméltó azonban, hogy amikor a kísérletet egy angol üveggel próbáltuk elvégezni, a jelenség nem vagy csak alig lépett fel; az üvegnek németnek kell lennie, még a holland sem jó; mindegy, hogy gömbölyű vagy bármilyen más alakú: használhatunk egy közönséges – nagy vagy kicsi, vastag vagy vékony, mély vagy nem mély – talpas poharat; feltétlenül szükséges azonban, hogy német vagy cseh üveg legyen; az, amelyről azt hittem megölt, vékony, fehér üvegből készült és öt hüvelyk (kb. 13 cm) átmérőjű volt. A kísérletet végző személy állhat egyszerűen a padlón, de fontos, hogy egyazon ember tartsa a D palackot az egyik kezében és próbáljon meg szikrát húzni a másikkal; a hatás nagyon gyenge, ha ezeket a tevékenységeket két különböző ember végzi: ha a D palackot egy fa asztalon álló fém állványra tesszük, akkor aki megérinti ezt a fémet akár az ujjá végével is, és szikrát húz a másik kezével, nagy ütést kap stb.”⁸

⁷ *Philosophical Transactions* 38 (1734), 258. o.

⁸ Musschenbroek Reaumurhoz írt levelét idézi Jean Antoine Nollet: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (Paris, 1746).



A leydeni palack

A palackot fémfóliák felvitelével tovább tökéletesítették, majd az amerikai Benjamin Franklin (1706–1790), a Függetlenségi Nyilatkozat megfogalmazója, belátta, hogy nem a palackforma a lényeges az elektromosság összegyűjtésében, hanem az eszköz által alkotott – akár sík – kondenzátor fegyverzetei. Így viszonylag olcsón és kényelmesen nagy mennyiségű elektromos töltést tudtak felhalmozni az egyre nagyobb szabású és látványosabb kísérletekhez. Franklin volt az is, aki 1752-ben sikeres kísérleteket végzett (és ezt – óvatossága, gondossága miatt – túl is élte, amit nem mindenki mondhatott el magáról ebben az időben) a légköri elektromossággal és a villámokkal, amelyek gyakorlati eredménye lett a villámhárító.

„Minthogy európai közleményekben gyakran emlegetik a philadelphiai kísérlet sikerét a felhőkből származó elektromosság előállításában magas épületeken felállított hegyes vasrudak segítségével stb., érdekes lehet a beszámoló arról, hogy Philadelphióban ugyanez a kísérlet sikeres volt más és sokkal könnyebb módon is, ahogy következik:

Cédrusfából készítsünk egy könnyű kis keresztet, olyan hosszú karokkal, hogy azok elérjék egy kiterített nagyobb vékony selyemkendő négy sarkát; kötözzük a kendő négy sarkát a kereszt végeihez, így megkapjuk egy sárkány testét; ha rendszeren ellátjuk farokkal, hurokkal és zsineggel, ugyanúgy fel fog emelkedni a levegőbe, mint a papírsárkány; mivel azonban ez selyemből van, jobban bírja a nedvességet és a vihar szélököseit, anélkül, hogy szétszakadna. A kereszt felfelé álló rúdjának a tetejére rögzítsünk egy nagyon hegyes drótot, hogy legalább egy lábnyira (kb. 30 cm) a fa fölé emelkedjen. A zsineg végére – a kéznél – kötözzünk egy selyemszalagot, a selyem és a zsineg találkozási pontjához pedig erősítsünk egy kulcsot. Engedjük fel ezt a sárkányt, amikor úgy tűnik, hogy szélvihar jön, a zsinetet tartó személy pedig álljon az ajtón vagy ablakon belül, esetleg valamilyen tető alatt, hogy a selyemszalag ne legyen nedves; vigyázni kell arra is, hogy a zsineg ne érjen hozzá az ajtó- vagy ablakkerethez. Amint valamilyik viharfelhő a sárkány fölé ér, a hegyes drót kihúzza belőle az elektromosságot, és a sárkány az egész

zsineggel együtt elektromos lesz, továbbá a zsinag szabadon álló szárai mindenfelé ki fognak állni és vonzani fogja őket az őket közelítő ujj. Amikor az eső megnedvesíti a sárkányt és a zsinaget, úgyhogy szabadon képes lesz vezetni az elektromosságot, akkor úgy fogja találni, hogy az bőségesen áramlik ki a kulcsból, ha az ujjával hozzá közelít. Ennél a kulcsnál egy fiolát fel lehet tölteni; és az így nyert elektromossággal meg lehet gyújtani az alkoholt, valamint az összes többi elektromos kísérletet el lehet végezni, amelyet általában megdörzsölt üveggömbbel vagy csóvel szoktak, ezáltal az elektromos anyag azonossága a villáméval tökéletesen bizonyított.”⁹

Ő elméletileg az egyfolyadékos modell híve volt, a pozitív és a negatív elektromosságot a folyadék túlzott jelenlétének, illetve hiányának tudta be, ezzel tulajdonképpen a töltésmegmaradás törvényét kifejtve.

„1. Egy személy viaszon áll és egy üvegcsövet dörzsöl, egy másik személy a viaszon húzza a kisülést; feltéve, hogy egymást nem érintik, egy padlón álló személy számára mindkettőn elektromosan töltöttnek tűnnek; azaz, az illető szikrát kap, ha bármelyikükhöz közelít az ujjával.

2. Azonban, ha a viaszon lévő személyek megérintik egymást az üvegcső dörzsölése közben, egyikük sem tűnik elektromosan töltöttnek.

3. Ha megérintik egymást a cső dörzsölése és a kisülés húzása után, akkor erősebb szikra keletkezik közöttük, mint akármelyikük és a padlón lévő személy között.

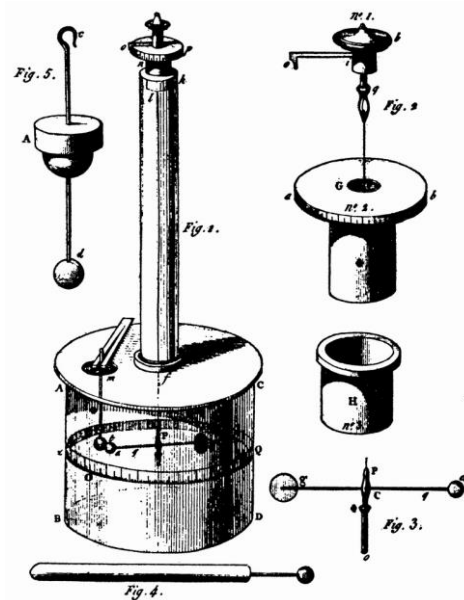
4. Egy ilyen erős szikra után egyikük sem talál semmilyen elektromosságot. Ezeket a jelenségeket a következőképpen próbáljuk megmagyarázni:

Feltételezzük, hogy az elektromosság egy általánosan jelenlévő elem, amelyből az üvegcsóvel elkezdett bármely művelet előtt ez a három személy egyformán részesedik. *A*, aki a viaszon áll és dörzsöli az üvegcsövet, magáról az üvegre gyűjti az elektromosságot; mivel a közös készlettel való kapcsolata a viasz miatt el van vágva, teste nem tud rögtön feltöltődni. *B*, aki hasonlóképpen a viaszon áll, megkapja a kisülést, amelyet az üveg *A*-tól gyűjtött össze; és mivel a közös készlettel való kapcsolata a viasz miatt el van vágva, megtartja a kapott mennyiséget. A padlón álló *C* számára mindkettőn elektromosan töltöttnek tűnnek; minthogy ő csak az átlagos mennyiségű elektromossággal rendelkezik, szikrát kap *B* megközelítésekor, akinek feles mennyisége van, és szikrát ad *A*-nak, akinek hiánya van. Ha *A* és *B* megérinteni készülnek egymást, a szikra erősebb; mert a különbség köztük nagyobb. Egy ilyen érintés után nincs szikra akármelyikük és *C* között, mert az elektromosság mindegyikükben az eredeti mennyiségre állt vissza. Az elektromos feltöltés alatti érintés esetén az egyenlőség sosem bomlik meg, a kisülés csak körbe jár. Ily módon néhány új szakkifejezés

⁹ B. Franklin 1752. október 16-i levele Peter Collisonhoz, Londonba.

keletkezik. Azt mondjuk, hogy *B* (és a hasonlóan kezelt testek) pozitívan töltött(ek); *A* pedig negatívan; vagy inkább *B* töltése *plusz*, *A*-é pedig *mínusz*. ...”¹⁰

Ez a mechanikai jellegű elmélet mintegy 100 évig uralta az elektromosságot.



Coulomb torziós mérlege

A fenti kísérletek egy része és a modellek szintén arra utalnak, hogy az elektromosság nem csupán lokálisan képes hatást kifejteni, hanem áramoltatható is. Mielőtt azonban az ebből fakadó fejleményekre rátérnénk, be kell számolnunk a newtoni mechanikának a statikus elektromossággal kapcsolatos legnagyobb eredményéről és legnagyobb kudarcáról. Az előbbi esetben Charles-Augustine de Coulomb (1736–1806) francia fizikus méréseiről van szó, aki egy igen pontos eszközzel, a torziós mérleggel – amelyet korábban feltalált, és amelynek tulajdonságait gondosan megvizsgálta és leírta – a töltések (majd az egymást mágnesesen vonzó, illetve taszító testek) közötti erőt vizsgálta, teljesen a newtoni recept alapján. De nem csak abban az értelemben követte a newtoni ajánlást, hogy a természeti jelenségek mögötti erőket kereste, hogy azután ennek birtokában új jelenségeket tudjon megjósolni, hanem magát az erő(ke)t is pontosan abban a formában feltételezte, amelyben Newton a tömegvonzást felírta. Vagyis Coulomb 1785-ben nem annyira felfedezte, hogy a töltések között ható erő arányos a töltésekkel és fordítottan arányos a köztük lévő távolság négyzetével, mint inkább igazolta azt méréseivel. Fogalmazhatunk talán úgy is, hogy Coulomb itt nem egy új tudományágat indított el a kvantitatívítás útján, hanem a mechanikának szerzett egy újabb nagy diadalt. Mellesleg persze egy olyan eszközt is megalkotott, amelynek változatai még legalább egy évszázadon át fontos szerepet játszottak a fizikában.

Az említett kudarc az elektromos és mágneses jelenségek közötti kapcsolat megteremtésének hiánya volt. A jelenségek vizsgálata, a kialakuló matematikai modellek mind azt mutatták, hogy az elektromos és mágneses jelenségek analóg módon mennek végbe. Semmilyen mechanikai ötlet nem vezetett azonban a két jelenségkör összekapcsolásához. A megoldáshoz egy a mechanikai

¹⁰ Franklin 1747. június 1-jei levelét közli: *Philosophical Transactions* 45 (1750), 98. o.

világképen kívülről jött filozófiai eredetű nézetrendszer vezetett el, az úgynevezett romantikus természetfilozófia. Elsősorban a Kant utáni német idealista filozófia egyik jelentős alakjának, Friedrich Wilhelm Joseph von Schellingnek (1775–1854) a XVIII. század legvégén kialakult korai nézetei voltak nagy hatással a természettudósokra. E szerint a természet *egyetlen* (szellemi jellegű) princípium – vagyis alapelv – megnyilvánulása, ez a princípium formálja meg saját képére az anyagot. Minden természeti forma ugyanahhoz a mintához, ideálhoz közelít, mindenben ugyanaz a készlet, alkotóerő dolgozik. A tárgy és a róla való tudás viszonya ugyanaz, mint az oké és az okozaté, a világ egyetlen szerves egész. A természet látható szellem, a szellem pedig látható természet, a két elv egységet képez, sőt azonos. Mindezt Schelling empirikus úton kívánta igazolni, ezért rendkívüli módon érdeklődött az elektromosság és mágnesség közös vonásai iránt. Érdeklődése és az az általános alapelve, hogy minden természeti kölcsönhatás mögött ugyanaz a princípium – ha úgy tetszik erő – áll, mindenben ugyanaz az erő dolgozik, ez a romantikus felfogás ragadott meg jó néhány fizikust.

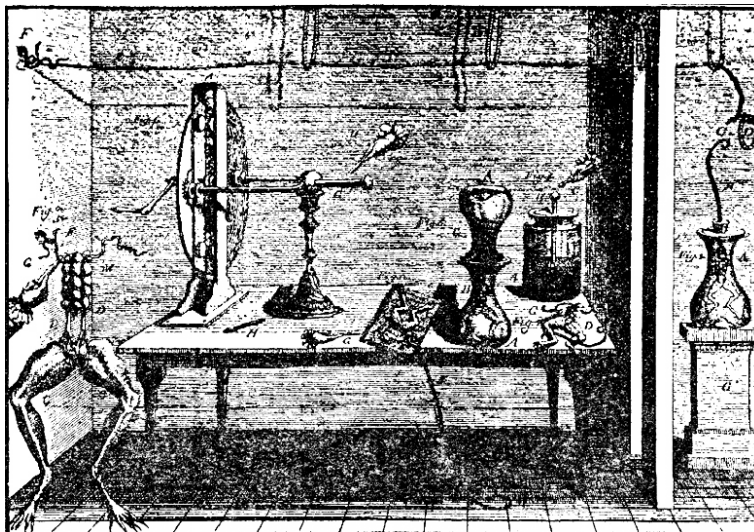
Schelling alapelve vezette Hans Christian Ørsted (1777–1851) dán fizikus-vegyészt arra, hogy végül felfedezze az elektromos áram és a mágnesség közötti kapcsolatot.¹¹ Gyakran véletlenül szokták beállítani, hogy egy esti előadáson, fizikus hallgatók előtti demonstrációs kísérlet közben 1820-ban rájött, nem az állandó áram és a mágnesű között lép fel kölcsönhatás, hanem az áram ki-bekapcsolásakor, vagyis változásakor észlelhető mágneses hatás. Valójában azonban – Schelling nyomán – ekkor már körülbelül 20 éve foglalkoztatta intenzíven ez a probléma, tehát nehezen lehetne teljesen véletlennek minősíteni felfedezését. Mindvégig úgy képzelte, hogy a kémiai affinitás az elektromosság, a hő, a mágnesség, a fény, mind ugyanannak az alapvető vonzásnak és taszításnak a különböző megnyilvánulásai. A felfedezés estéjén is az elektromos és hőjelenségek összefüggéséről tartott előadást és demonstrációt. Nem egyedül Ørstedet motiválta nagyon erősen az a tetszetős elképzelés, hogy a világ egyetlen elvből építkezik, hanem ugyanezen a területen később például az angol fizikus-vegyész Michael Faraday-t (1791–1867) is, aki tulajdonképpen egész tudományos pályafutása alatt az egyik erőt a másikká próbálta átalakítani, így például az elektromosság és mágnesség kölcsönhatásainak minden formáját vizsgálta és hasznosította, de bizonyította az elektromosság és a kémiai kötés, valamint a fény és a mágnesség összefüggését is; vagy a fizika más területein például Julius Robert von Mayer (1814–1878) német származású orvost, az energia-megmaradás elvének felfedezőjét. Az ő esetében azonban már – negyedszázaddal Ørsted felfedezése után – e nézeteket a természettudós közvélemény, amelynek eddigre elege lett az általa eredménytelennek ítélt filozófiai spekulációkból, eléggé ellenségesen fogadta. Schellingéhez hasonló elvek azonban később is érvényesültek a fizikai kutatásokban, ezek közé sorolhatjuk például Einstein törekvéseit az egységes térelmélet megalkotására, vagy a mai kutatásokat a Nagy Egyesített Elmélet (GUT) megalkotására.

Ørsted felfedezése egy teljesen új utat nyitott meg a fizikában, kicsit talán oly módon, ahogyan Thomas Kuhn (1922–1996) beszél a paradigmaváltásról. Nemcsak a nagy, átfogó tudományos forradalmak, hanem a kisebbek esetén is használható az a hasonlata, mely szerint egy ilyen váltással a tudósok egyik pillanatról a másikra egy új bolygón találják magukat: látnak néhány már ismerős alakzatot, de az egész lényegében feltáratlan. Ha nem akarjuk a paradigmaváltás fogalmát használni, akkor is minimum azt kell megállapítanunk, hogy az elektromosság és mágnesség

¹¹ Az igazság az, hogy az áram mágneses hatását már 1802-ben megfigyelte egy olasz jogász, Gian Domenico Romagnosi, de közleménye nem jutott el a tudományos körökhöz.

kapcsolatának felfedezése után az elektromágnesség-tan fejlődése lényegesen felgyorsult, és sok e területen dolgozó kutató számára megnyílt a lehetőség az előbbre jutásra.

Ezt megelőzően természetesen meg kellett oldani az elektromosság korábban felfedezett áramlásának szokásos technikai alapproblémáját: hogyan hozható létre stabil elektromos áram, hogy ez is megfigyelhető, kísérletek tárgyává tehető legyen. A problémát az olasz orvos-fizikus, Luigi Galvani (1737–1798) „állati elektromosság”-gal kapcsolatos 1780-as felfedezései nyomán előállított Volta-oszlopok¹² eddigre már megoldották.

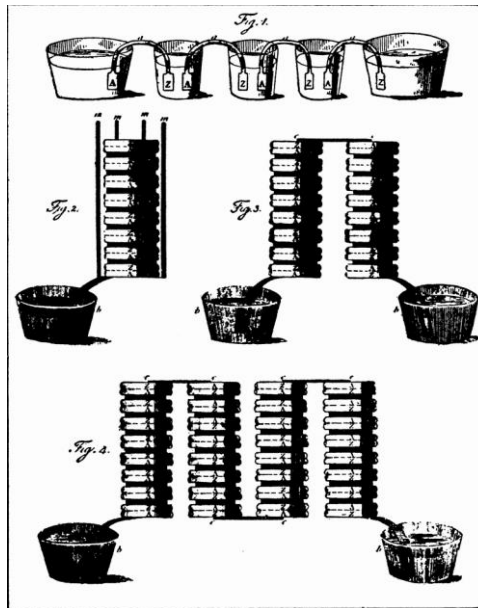


Galvani ábrája

„A felfedezés a következőképpen történt. Felboncoltam és kipreparáltam egy békát mint azt a Fig. 2 rész mutatja az ábrán, és miközben valami mással voltam elfoglalva, letettem egy asztalra, amelyen egy dörzselektromos gép állt a konduktorától bizonyos távolságra, elég nagy térközzel elválasztva. Most amikor az egyik jelenlévő személy véletlenül kissé megérintette a béka *DD* belső combidegét egy szike hegyével, úgy tűnt, a lábak összes izmai újra és újra összehúzódtak, mintha valami erősen összenyomta volna őket. Egy másik jelenlévő személy, aki az elektromos kutatásokban segített nekünk, úgy vélte, megfigyelte, hogy a hatás akkor keletkezett, amikor egy szikra sült ki a gép konduktorából. Meglepődve ezen az új jelenségen, felhívta rá a figyelmemet, nekem ugyanis ekkor valami más járt a fejemben, és mélyen elgondolkodtam. Amire én hihetetlen hévvel és mohósággal lelkesültem fel, hogy leellenőrizzük a dolgot, és megvilágítsuk, mi van mögötte. Ezért magam érintettem meg a kés hegyével egyik vagy másik ideget, és ugyanakkor a jelenlevők egyike szikrát húzott. A jelenség mindig ugyanaz volt. Kétségtelenül élénk összehúzódnások történtek a láb minden izmában, ugyanabban a pillanatban, amikor a szikra átugrott, mintha a preparált állatot tetanusz támadta volna meg.

¹² A szintén olasz Alessandro Volta (1745–1827), Galvani barátja, 1794-ben kezdett kísérletezni különböző fémekkel, anélkül, hogy állati szöveteket használt volna, és rájött, hogy azokra nincs is szükség az áram előállításához. A századforduló környékére már jól működő elemeket készített.

Arra gondolva, hogy ezeket a mozgásokat a késheggyel való érintkezés válthatta ki, amely inkább okozhatta az izgatott állapotot, mint a szikra, megérintettem ugyanazokat az idegeket megint ugyanúgy más békáknál a késheggyel, és igazán erősen rányomva, de úgy, hogy eközben senki se húzzon szikrát. Most nem lehetett mozgást észlelni. Ezért arra a következtetésre jutottam, hogy talán a jelenség előidézéséhez egyaránt szükséges a test érintése és az elektromos szikra is. Ezért ismét megnyomtam a kés élével az ideget és ott tartottam nyugalomban, amíg a szikra átment és amíg a gép leállt. A jelenség csak akkor mutatkozott, amikor a szikrák átmentek.”¹³



Volta ábrája

„Leteszem vízszintesen egy asztalra vagy alpra az egyik fémlemezt, például az egyik ezüstlemezt, és erre az első lemezre ráteszek egy második cinklemezt; erre a második lemezre ráfektetem az egyik megnedvesített korongot; azután egy másik ezüstlemezt, amit közvetlenül egy másik cink követ, amelyre megint egy megnedvesített korongot rakok. Így folytatom ugyanezen a módon párosítva egy-egy ezüst- és cinklemezt, mindig ugyanabban a sorrendben, azaz mindig alulra az ezüstöt és fölé a cinket vagy fordítva, attól függően, hogy hogyan kezdtem, e párok közé pedig egy megnedvesített korongot illeszték; folytatom ezeket a lépéseket egy olyan magas oszlopot képezve, amely még meg tudja tartani magát, anélkül, hogy összeomlana (Fig. 2, 3, 4 az ábrán).

...

Visszatérve készülékem mechanikai felépítéséhez, amely számos változatot tesz lehetővé, nem folytatom most mindazoknak a leírását, amelyeket kitaláltam és megépítettem nagyban vagy kicsiben, hanem csak azokkal foglalkozom, amelyek vagy érdekesebbek, vagy használhatóbbak, vagy amelyek valamilyen tényleges

¹³ Galvani: *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii 7 (1791).

De még jóval később, a XIX. század közepe után is élt a mechanikai szemlélet az elektromágneségtanban: a skót matematikus-fizikus James Clerk Maxwell (1831–1879) az elektromágneses tér tulajdonságait fogaskerekkel ábrázolta, mégpedig nem csupán a maga számára, hanem például az elektrodinamikát kifejtő három megjelent cikke közül a középsőben a nyilvánosság előtt is.

Még mielőtt az elmélet teljes fegyverzetben megjelent volna, számos feltáró jellegű kísérleti munkára volt szükség. Ezek nagy részét a fizika történetének talán legnagyobb kísérletezője, a már említett Faraday végezte el. Az angol autodidakta tudós¹⁶ óriási tehetséggel körülbelül 20 év alatt több ezer kísérletet tervezett és kivitelezett, főképpen az elektromágnesesség különféle területein. Tevékenységéből nem hiányoztak azonban a fogalomalkotások (pl. erővonal), az elméleti általánosítások sem. Munkásságának talán legjelentősebb része, hogy forgómozgások segítségével behatóan tanulmányozta az elektromos áramok és a mágneses tér kölcsönhatását: az elektromágneses indukciót, az elektromotoros erőt stb., és meg tudta tenni azokat a felfedezéseket, amelyek idővel elvezettek az elektromosság gyakorlati felhasználásához is.

Róla szól az a legenda, hogy egy pénzügyi államférfiú látogatásakor, annak kérdésére, hogy mit ér a munkája, mi értelme a kísérleteinek, Faraday azt válaszolta, hogy Méltóságod egyszer még megadóztathatja. Mint tudjuk, jóslata bevált. A másik terület, amelyet bár nem ő fedezett fel, de részletes kísérletekkel ő tárt fel, az elektrolízis jelenségek köre volt. Ez vezette el az ionok létének feltételezéséhez, vagy az elektromos töltés megmaradásának kísérleti alátámasztásához. Foglalkozott ezeken kívül még például a fénypolarizációval és számos kémiai jellegű problémával is. Ami az elmélet felé haladást illeti, Faraday elkezdett azon gondolkodni, hogy hogyan lehet elképzelni a vizsgált elektromágneses hatások működését, és erre találta ki például a mágneses erővonalak fogalmát, amit ma is használunk.

Egy másik cikkét a következőképpen kezdi:

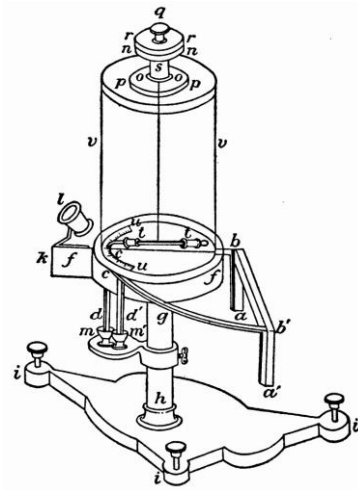
„I. Két elektromos áram kölcsönhatása.

1. Az elektromotoros működés kétfajta hatásban nyilvánul meg, amelyet azt hiszem először én tudok pontos definíciókkal megkülönböztetni.

Az elsőt *elektromos feszültségnek*, a másodikat *elektromos áramnak* fogom nevezni.”

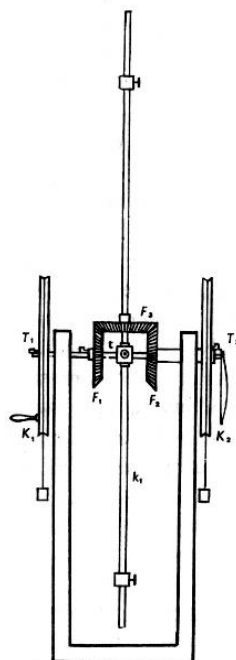
(*Annales de Chimie et de Physique*, Series II, 59 (1820), 15. o.).

¹⁶ Faraday már a maga korában is kivételes módon vált tudóssá. Mint szegény származású gyermek, a templom vasárnapi iskolájában tanult meg olvasni, írni és számolni, 13 évesen dolgoznia kellett menni, de szerencsére módjában állt egy könyvesboltban elhelyezkedni. Itt lehetősége nyílt egyrészt természettudományos könyveket olvasni (és az olvasott kísérleteket otthon megpróbálni elvégezni), másrészt olvasó emberekkel találkozni. Az utóbbiak közül a Royal Society egyik tagja bevitte Sir Humphrey Davy (1778–1829) egy kémiai előadássorozatára. Faraday az előadások részletes jegyzeteivel jelentkezett azután az előadónál, akinek természetesen megtetszett a fiú. Adandó alkalommal felvette asszisztensnek, majd mivel feleségével éppen európai tudományos körútra készült, az ellátás és a tudományos körökbe való bevezetés fejében magával vitte szolgának. Ezáltal Faradaynek sikerült megismerkednie Európa összes jelentősebb laboratóriumával és tudósával, visszatérve pedig képessé vált önálló laboratóriumi tevékenységre. Amikor pedig már jövedelemre is szert tett, akkor – indulására visszaemlékezve – szegény, de tehetséges diákokat támogatott belőle.



Az Ohm-törvény mérésére szolgáló eszköz

Faraday-en kívül természetesen mások is foglalkoztak a múlt század húszas éveitől kezdve kísérleti elektromágnesség-tannal és így hozzájárultak az ismeretek gyarapodásához. Csak a legismertebb neveket megemlítve: Georg Simon Ohm (1789–1854) német fizikus tárta fel az áramkörökre vonatkozó (feszültség, áramerősség, ellenállás közötti) róla elnevezett összefüggést 1827-ben, ugyancsak az áramkörökre vonatkozóan húsz évvel később a szintén német fizikus, Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) állapította meg az ún. csomóponti törvényeket. Heinrich Friedrich Emil Lenz¹⁷ (1804–1865) orosz fizikus, a Faraday-hez hasonlóan angol autodidakta matematikus (egyébként pék és molnár), George Green (1793–1841) és mások szintén fontos kísérleti és elméleti lépéseket tettek e jelenségkör feltárására.



Mechanikai modell az indukcióra

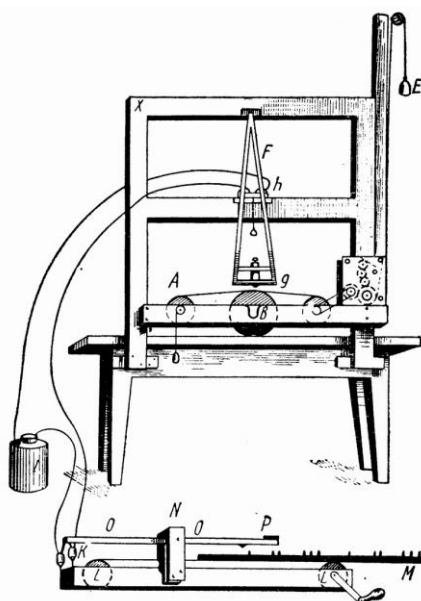
¹⁷ Oroszosan: Emilij Hrisztianovics Lenc.

Mindezeket az eredményeket Maxwell összegezte axiomatikus elektrodinamikai elméletében 1855 és 1865 között. Ez a munka – nagyságrendjét tekintve – csak Newtonéhoz hasonlítható.¹⁸ Kiindulópontja, segédeszközei, analógiái a mechanikai paradigmából származnak; ugyanúgy rakja össze, szintetizálja egészé tudományágában a mások (pl. Faraday) által felfedezett töredékeket, mint Newton, miközben a nagy elődhöz hasonlóan ezekhez hozzáteszi a maga részeredményeit (pl. eltolódási áram) is. A végeredmény pedig egy olyan teljes elmélet, amely (a közben felhasznált fogaskerekerek ellenére) túllép a newtoni mechanikán. Túllép abban, hogy egy új jelenségkör teljes lefedésére alkalmas, de túllép szemléletében is, amennyiben az elektromágneses tér fogalma különbözik minden, a newtoni mechanikában használatos fogalomtól.¹⁹ Ahogy Newton után a fizikusok feladata a Newton-féle törvények alkalmazása lett különböző többé-kevésbé speciális esetre, úgy Maxwell után a fizikusoknak nem volt más teendőjük, mint a négy Maxwell-féle differenciálegyenlet megoldása többé-kevésbé speciális kezdeti és határfeltételek mellett. A négy egyenlet lényegében a következő állításokkal ekvivalens: 1. a Coulomb-erőnek megfelelő elektromos tér elektromos töltésből származik – $\text{div } D = \rho$; 2. nincsenek elszigetelt mágneses pólusok, egy mágnes pólusai között a Coulomb-erő hat – $\text{div } B = 0$; 3. változó mágneses terek elektromos tereket hoznak létre (Faraday-féle indukciós törvény) – $\text{rot } E = -\delta B/\delta t$; 4. változó elektromos terek és áramok mágneses tereket hoznak létre (az Ampère-törvény Maxwell-féle általánosítása) – $\text{rot } H = \delta D/\delta t + J$ (a képletekben E az elektromos térerősség, ρ a töltéssűrűség, D az elektromos indukció, H a mágneses térerősség, B a mágneses indukció, J pedig az áramsűrűség). Ezek segítségével bármely elektromágnességgel kapcsolatos problémát meg lehetett és meg kellett oldani.²⁰ Az elmélet segítségével ráadásul nem csupán a korábban ismert jelenségek voltak tárgyalhatók, hanem újakra is fény derült. Ezzel tehát a mechanika után megszületett a második fizikai elmélet, amely önállóan, teljesnek és sikeresnek volt tekinthető – a ma klasszikus elektrodinamikának nevezett rendszer.

¹⁸ Maxwell egészen kiemelkedő fizikusi munkásságát bizonyítja, hogy ha egy sort sem írt volna az elektromágnességtan területén, kinetikus gázelméleti tevékenysége révén akkor is a fizikatörténet legnagyobb alakjai között tarthatnánk számon. Így, hogy lényegében egyedül – bár természetesen, akárcsak Newton, elődökre támaszkodva – létrehozta az elektrodinamika elméletét, teljesítménye Newtonén kívül csak Einsteinéval vethető össze. A skót fizikus ügyes kísérletező is volt, például számos kísérletet végzett a színekkel kapcsolatban; ennek egyik eredménye a színes fényképezés három szűrővel történő megoldása volt, amelyet 1861-ben mutatott be.

¹⁹ A mechanikai szemlélet számára azonban maradt egy kibúvó, nevezetesen az elektromágnességnek az *éter* – mint mechanikai közeg – tulajdonságakénti magyarázata. Ez azonban már egy másik történet.

²⁰ Legalábbis így tűnt a századvég tudósai számára. Amiről később kiderült, hogy mégsem kezelhető pusztán a Maxwell-egyenletek segítségével, az már új tudományt kívánt meg: az elektrodinamika tekinthető a XX. század két nagy fizikai forradalma – a relativitáselméleti és a kvantummechanikai – gyökerének.



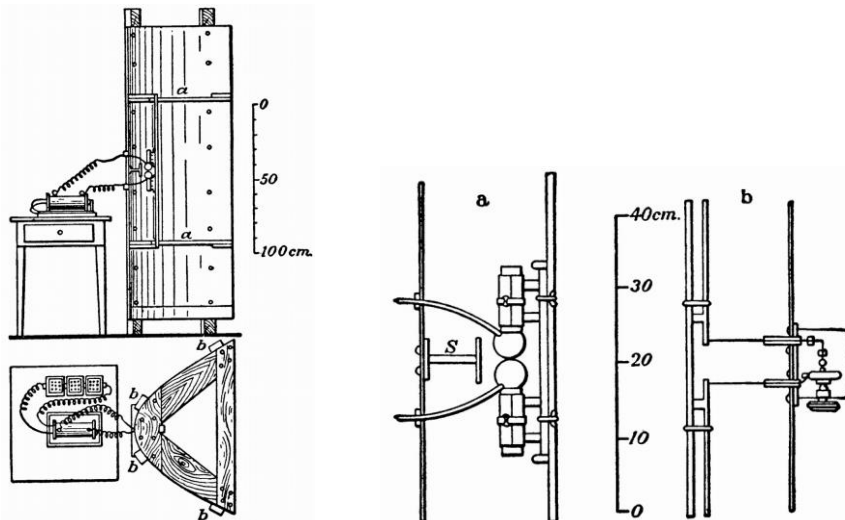
Morse távírója

Az elektrodinamika az egyik legalkalmasabb példa arra, hogy a tudomány gyakorlati következményeiről is említést tegyünk. Szó volt róla, hogy az elektromosságot már dörzsöléses formájában is megpróbálták – sikerrel – távolabbra vezetni, ez az áramok, az áramkörök és a vezetők tulajdonságainak feltárása után még inkább lehetővé vált. Megnyílt az út a különböző technikai alkalmazásokra. Ezeket részben tudósok, részben feltalálók valósították meg. Az első esetre az egyik példa az elektromágneses távíró első formája, amelyet a német fizikus, Wilhelm Eduard Weber (1804–1891) alkotott meg barátja, talán minden idők legnagyobb matematikusa, Carl Friedrich Gauss (1777–1855) segítségével 1833-ban – az anyagi eszközök hiánya miatt egyelőre viszonylag kis méretekben. Az első viszonylag működőképes változatra 1837-ben kapott szabadalmat William Fothergill Cook (1806–1879) angol feltaláló és Charles Wheatston (1802–1875), a vele dolgozó fizikus. A közvetlenül Ørsted megfigyelését alkalmazó – öt mágnesűt használó – távíró elsősorban az angol vasút alkalmazta. Ugyanebben az évben kapott szabadalmat az Egyesült Államokban Samuel F. B. Morse (1791–1872) portréfestő, a képzőművészet professzora a később a vasutaknál és a hírközlésben széles körben elterjedt készülékére, amelyhez a használandó kódokat is megalkotta. Harminc év múlva az Atlanti-óceánba süllyesztett kábelén keresztül már jelentős interkontinentális hírforgalom is zajlott. A múlt század utolsó negyedében a nagyobb átviteli sebesség érdekében duplex, quadruplex, majd időosztásos multiplex áramköröket használtak. Ezek továbbfejlesztésével e század közepe táján már teljesen elterjedtek a telex-szerű készülékek (távírógépek), amelyek egészen a legutóbbi időkig használatban voltak. Az elektromos távírók jelentőségét csökkentette az olyan átviteli eszközök fokozatos megjelenése, mint a telefon, a mikrohullámú rádiókapcsolat, a műholdas átvitel, a számítógépes hálózat. A XX. század végére a fax és az e-mail lényegében szükségtelenné teszi ezt a korábban igen fontos szerepet betöltő alkalmazást.

Az elektromosságot alkalmazó feltalálók közül talán a legnevesebb az amerikai Thomas Alva Edison (1847–1931) volt, aki többek (mintegy 1300 szabadalmazott találmány) között megalkotta a ma is használatoshoz hasonló villanykörtét és az elektromos világítási hálózatot 1880 körül. Az elektromágnességgel kapcsolatos fizikai alapkutatásra épülő ilyen technikai alkalmazások rengeteg mérnöki munka segítségével fokozatosan elterjedtek szinte az egész

világon, és nyugodtan állíthatjuk, hogy alaposan megváltoztatták mindennapi életünket. Míg a mechanikai gépek feltalálásához, tökéletesítéséhez az esetek többségében nem volt szükség a mechanika tudományára, az elektromágnesességnél nem ez a helyzet. Az elektromosság és mágnesesség kifejezetten a tudomány találmánya. A laikus számára csupán nagyon kevés alapjelenség volt ismert az elektromágnesség-tan kialakulása előtt. A tudomány által feltárt elektromágneses jelenségek alkalmazása pedig nem lett volna lehetséges a tudósok szisztematikus kísérleti és elméleti munkája, törvényszerűségeket feltáró tevékenysége nélkül. Ez a tevékenység azután olyan eszközrendszereket vont maga után (közülük fentebb csupán kettőt említettünk), amelyek jelentőségét talán úgy becsülhetjük fel leginkább, ha elképzeljük – vagy előidézünk – hiányukat mai életünkben. A legnevezetesebb ilyen példák a nagy New York-i áramszünetek 1965. november 9-ről 10-re virradó éjjel, illetve 1977. július 13–14-én. Ezeken az éjszakákon a világításon kívül megszűnt minden elektromos motorok által hajtott mozgás: a szivattyúk, pumpák leállása miatt a víz- és gázszolgáltatás szünetelt; emberek sokasága ragadt benn a felhőkarcolók liftjeiben, illetve metrószerelvényekben az állomások között. A leszálló repülőgépek előtt hirtelen elsötétült a leszállópálya (a repülőtereket azután lezárták); nem lehetett TV-t nézni (ennek következtében 9 hónap múlva a szülészeti osztályok zsúfolásig teltek); csak az elemmel működő rádiókat tudták használni (bár az adók tartalékra való átállása időnként lelassította – és ezzel elmélyítette – a zenei felvételek lejátszását); a hűtőszekrények leálltak stb.²¹ Mindez azt bizonyítja, hogy mai életünk alapvetően az elektromosságra épül, nélküle már nehezen tudnánk megélni.

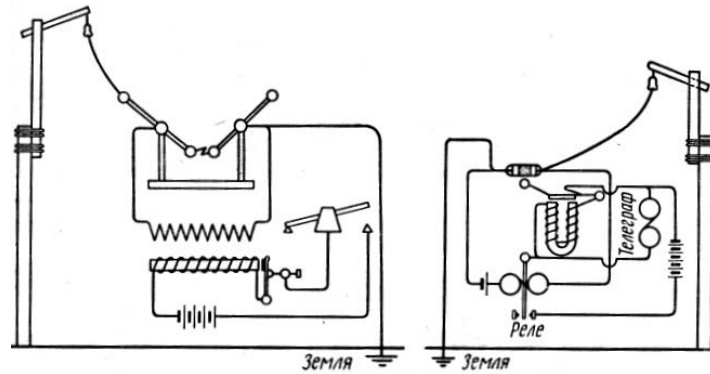
²¹ Az 1965-ös áramszünet délután 1/2 6-kor – már sötétben – kezdődött, egy niagarai erőmű egyetlen kapcsolójának rossz beállítása miatt. A kimaradás az USA 8 északkeleti államát (és Kanada egy részét) érintette, mintegy 12 órán át. Ezen a területen ekkor kb. 25 millió ember élt, akik egy része egymást segítve próbált a meglehetősen hidegben hazajutni. Számukra a telehold és az utakon haladó autók lámpái világítottak. A bűnözés visszaesett. Ezzel szemben az 1977-es áramszünet nyáron következett be, amikor az este 1/2 10-es időpont ellenére még igen sokan az utcákon voltak. Rövid időn belül az emberek fosztogatni, gyújtogatni kezdtek. Több ezer üzlet kirakatát törték be, az autótól az élelmiszerig mindent loptak, összesen kb. egymilliárd dollár értékben, annak ellenére, hogy a szokásosnál nagyságrenddel több embert tartóztatott le a rendőrség. A csőd az 1965-ös áramszünet után tett intézkedések ellenére következett be, ezúttal azért, mert egy kiterjedt vihar villámlásai fokozatosan elválták New Yorkot az északon levő erőművektől, mire a túlterhelés miatt a déli erőművek egymás után leváltak a hálózatról. Most az áramszünet csak New Yorkra szorítkozott, de még így is 9 millió embert érintett, mintegy 25 órán keresztül.



Hertz nagyméretű eszközei: szikraközök/antennák

A Maxwell-féle elektrodinamika új elméleti eredményei is rendkívüli jelentőségre tettek szert. A negyedik egyenlet lehetővé teszi, hogy pl. elektromos váltóáram hatására periodikus elektromágneses hullámok jöjjenek létre, és ezek a forrásról leszakadva – mintegy zavarként – tovaterjedjenek a térben. Maxwell ezzel megmagyarázta a fény természetét, de egyben másféle hullámterjedések lehetőségére is utalt. Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894) német fizikus 1885 és 1889 között a megfelelő adó- és vevőkészülékeket (antennákat) megépítve létre is hozott laboratóriumában az ún. rádiófrekvenciához tartozó hullámokat, amelyekről fémtükrök és paraffin prizmák segítségével belátta, hogy ugyanúgy verődnek vissza és törnek meg, mint fény- vagy hőszugárzás. Ezzel egyrészt alátámasztotta Maxwell elektrodinamikai elméletét – amit addig sokan kétségekkel fogadtak –, másrészt közvetve igazolta a fény elektromágneses természetét, harmadrészt pedig új alkalmazások előtt nyitotta meg az utat. Az általa megépített antenna ugyanis a mai rádió, televízió, valamint radar-antennák őse. Először Guglielmo Marconi (1874–1937) olasz fizikus fejlesztette tovább: fokozatosan egyre nagyobb távolságokra tudott morzejeleket eljuttatni, míg 1901-ben sikeresen forgalmazott az Atlanti-óceán túlsó partjára, 1910-ben pedig csaknem 10000 km-ről vett jeleket. Ekkorra a hajókkal való drótnélküli táviró kapcsolat általánossá vált. Marconitól függetlenül és nagyjából vele egy időben Alekszandr Sztjepanovics Popov (1859–1906) orosz fizikus-elektromérnök épített rádióvevőt a villámlások észlelésére, majd ő is felvetette az adókkal és vevőkkel megvalósított hírközlés lehetőségét, de Marconiéhoz hasonló kísérleteit egy idő múlva felfüggesztette és csak az olasz fizikus eredményeiről hallva kezdte újra. Kezdeti kísérleteik óta az antennák nagy változásokon mentek keresztül, többek között feladat szerint (adó, vevő, AM, FM stb.) is differenciálódtak. Az antennák segítségével az első komolyabb beszédátviteli kísérletek 1915-ben történtek (AT&T), majd 1920-tól az egész világon rohamosan terjedt a rádiós műsorszórás, később pedig a televízióadások. További fejlesztések, mint például az elektroncső és később a tranzisztor (1948) feltalálása, illetve a nyomtatott (40-es évek) és integrált (60-as évek) áramkörök alkalmazása jelentős előrehaladást tett lehetővé ezen a téren. Láthatjuk tehát, hogy a mai tömegkommunikáció minden technikai formája az elektromosságtant alkalmazza. Egy olyan tudománytörténeti példával állunk itt is szemben, amikor a tudományos – akár elméleti – eredmények rendkívül nagy hatást gyakorolnak az emberi életre, az életminőségre, a hétköznapijainkra. Az adott esetben egyszerűen annyira áthatják tevékenységeinket, hogy nehéz lenne azokat elképzelni elektromos áramok és

elektromágneses hullámok nélkül, utóbbiak esetében pedig eléggé nyilvánvaló, hogy ezek felfedezéséhez nem csupán empirikus, hanem elméleti kutatásokra is szükség volt. (Nincs ugyanis olyan érzékszervünk, amellyel a fénytartományon kívül ezeket észlelhettük volna, az alkalmas eszközöket pedig az elmélet alapján állították elő.) Más tudományos eredményeknek is voltak társadalmi következményeik, de az egyik legjelentősebb hatást ebben a vonatkozásban éppen az elektromágnességtan fejtette ki.



Popov adó- és vevőkészülékének elvi vázlata

3. Az energiamegmaradás története

Egy másik érdekes példa olyan fizikai tudományágra, amely teljesen a mechanikai szemléletből indult ki, és egészen máshova érkezett meg, a hőtan.

A tűzzel, a melegedéssel és lehűléssel, a halmazállapot-változásokkal kapcsolatos első megfigyeléseket természetesen őseink a beláthatatlan múltban már megtették, a görögök pedig mindezeket tudatosan felhasználták világmagyarázataikban. Adataink vannak róla, hogy a hellenisztikus korszakban Hérón már a gőz feszítőerejét is felhasználta, igaz – a korszak jellemének megfelelően – egyelőre csupán játékként.



Torricelli barométere

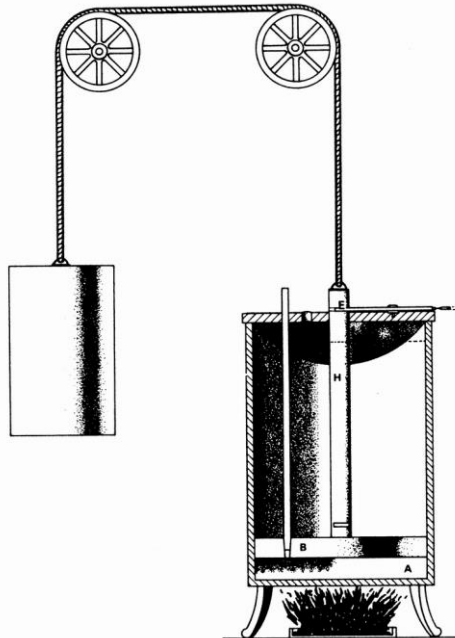
A fizikai hőtan talán Galileivel és tanítványaival veszi kezdetét. Galilei készíti tudományos célokra az első – a hőtáguláson alapuló – hőmérőt 1597-ben, amely azonban egyidejűleg még a levegő nyomását is beleméri a hőmérsékletbe. Tanítványa, Evangelista Torricelli (1608–1647) már szétválasztja a két dolgot, ismert higanyos barométerével a légköri nyomást méri (és ezzel egyben fellép az arisztotelészi „horror vacui” ellen), alkoholos hőmérője pedig már tisztán a hőmérsékletet. A nagy francia gondolkodó, Blaise Pascal (1623–1662) – sógorával, Périer-vel a csaknem 1500 m magas Puy-de-Dôme hegyen elvégzett híres kísérletében – már a légnyomás magasságfüggését is bizonyította, ami alátámasztotta, hogy a légnyomás valóban a levegőtenger súlyából származik, és igen erőltetetté tette a „horror vacui”-val való további érvelést. A vákuum tényleges előállításához azonban ki kellett fejleszteni a megfelelő légszivattyút, ami egyáltalán nem ment könnyen. Számos kudarc után Guerickének már olyan eszközök álltak a rendelkezésére, amellyel el tudta végezni látványos kísérleteit.



Guericke sikertelen (fent) és sikeres (lent) kísérlete a vákuum előállítására

A mérések szabványosítása, az eredmények kicserélhetősége érdekében törekedni kezdtek használhatóbb hőmérők, hőmérsékleti skálák és alappontok bevezetésére. Huygens és Hooke már 1660 körül kísérletet tettek erre. Körülbelül ugyanebben az időben Boyle légszivattyú segítségével mérte a nyomás és a térfogat kapcsolatát, felfedezve a Boyle–Mariotte-törvényt. Boyle – mint az atomelmélet híve – Baconhoz hasonlóan úgy gondolta, hogy a hőmérséklet valamiképpen a molekulák mozgásával függ össze. Emögött az a világos mechanikai szemlélet állt, hogy minden fizikai-kémiai jelenség mechanikai – tehát hely- és helyzetváltoztató – mozgással azonos. Asszisztense, a francia Denis Papin (1647–1712) igen gyakorlatias ember volt:

tökéletesítette a légpumpát; 1679-ben kitalálta a Papin-fazekat (mai magyar neve kuktafazék), amellyel szabályozhatóvá és egyben veszélytelenné tette a folyadékok feletti gőz nyomását; 1680-ban felfedezte a forráspont légnyomásfüggését; majd először írt le zárt termodinamikai körfolyamatot végző gőzgépet, végül 1707-ben meg is épített egyet.



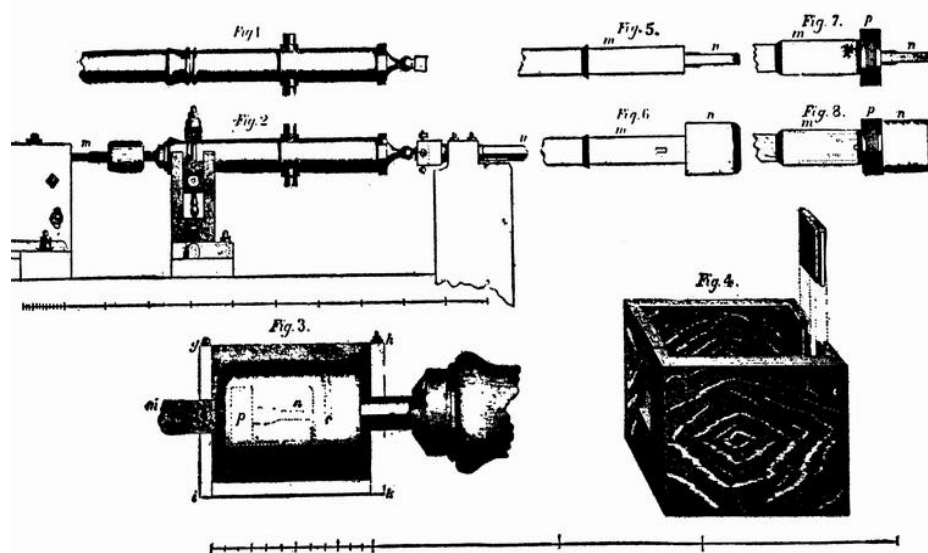
Papin gőzgépe

Gőzgéppel azonban ekkor már nemcsak ő próbálkozott. A gőz feszítőerejét tapasztalva nem volt szükség tudományos ismeretekre (mellesleg ezek ekkor még nem is álltak rendelkezésre) ahhoz, hogy valaki ezt hasznosító masinát konstruáljon. Tipikusnak tekinthető Thomas Newcomen (1663–1729) esete, aki kovács és vaskereskedő volt, így közvetlenül rendelkezett a gép építéséhez szükséges anyagokkal és ismeretekkel. Gőzgépét 1705-ben építette meg. A gőzgépcsinálók motivációja elsősorban a bányavizek kiszivattyúzásának igénye volt, annál is inkább, mert csak a bányákban állt rendelkezésre a gépek üzemeltetéséhez szükséges rengeteg szén, e kezdeti gépek hatásfoka ugyanis rendkívül alacsony volt. Siker esetén könnyebben és több szenet lehetett bányászni, ami viszont olcsóbbá tette a gép működtetését, azaz egy öngerjesztő folyamat alakult ki. Nem véletlen, hogy a fejlesztők jelentős része Angliából került ki. Az univerzális gőzgépek területén az áttörést a szintén angol James Watt (1736–1819) érte el 1784-ben, aki elválasztotta a gép többi részétől a gőz lecsapódására szolgáló kondenzátort, és az egész folyamatot önszabályzóvá tette. Gépét hamarosan kocsira, vonatra majd hajóra tették, és hosszú ideig a legdivatosabb hajtóerővé vált nem csupán a bányákban, gyárakban, hanem a közlekedésben is. Mindez lényegében elméleti ismeretek nélkül történt (bár Watt szeme előtt – barátjának, Blacknek a hatására – már lebegett valamiféle hőfolyadék képe, amikor gépét tervezte).

A tudományos ismeretek megszerzése érdekében, ahogy már említettük, hőmérőket, hőmérsékleti skálákat kellett létrehozni. Ezt tette meg Gabriel Daniell Fahrenheit (1686–1736) német, René Antoine de Réaumur (1683–1757) francia és Anders Celsius (1701–1744) svéd tudós. Megszülettek az első, a nagyközönség által is használható, hőmérők és három hőmérsékleti skála. A hőmérséklet mérése azonban csak az elemi kiindulást jelentette. A skót Joseph Black (1728–1799) volt az, aki 1760 körül megalapozta a kalorimetriát, vagyis a hőmennyiségek

mérését és számolását. Ő alkotja meg a fajhő fogalmát, ismeri fel az olvadáskor és lecsapódáskor megnyilvánuló látens hőt, különbözteti meg egyértelműen és véglegesen egymástól a hőmérsékletet és a hőmennyiséget, ami a nem tudós számára sosem volt lehetséges. A hőmennyiségekkel végzett kísérleti és gondolati műveletek révén Black egy Boyle-étől eltérő, de szintén mechanikus elképzelésre jutott. Azt feltételezte, hogy létezik egy kalorikumnak nevezett hőfolyadék, amely mindenütt jelen van az anyagokban, és felelős a hőjelenségekért. Ebben a mechanikai szemléletnek az az oldala jelentkezett, amely szerint valamilyen testet kell keresni a mozgások hordozójaként. A hő tehát egy sajátos anyagfajta, szubsztancia. Watt ennek a felfogásnak a híve volt.

A két kép közötti döntést nagyban elősegítette az Amerikából királypártisága miatt menekülni kényszerülő Benjamin Thompson (1753–1814), a bajor választófejedelem jóvoltából később Rumford gróf (a dologházak kitalálója), aki a századforduló előtt ágyúfűrés közben jött rá, hogy az egész folyamat jellege, a közben mért fajhők stb. valószínűtlenné teszik a kalorikum létezését, sokkal inkább a mozgáselméletet támasztják alá.



Thompson rajzai

„Alig szükséges hozzátennem, hogy akármi, amit bármely *elszigetelt* test vagy testek rendszere *korlátozás nélkül* képes szolgáltatni, az nem lehet *anyag* *szubsztancia*: és számomra rendkívül nehéznek, ha nem lehetetlennek tűnik, bármely más gondolatot kialakítani arról, amit létre lehet hozni és továbbítani, azon a módon ahogy a Hőt létrehoztuk és továbbítottuk ezekben a Kísérletekben, mint hogy ez MOZGÁS.”²²

Előbb-utóbb – mondjuk az 1840-es évekre – mindenki igazat adott neki. Erre utaltak a gázok állandó nyomáson való hőtágulásával kapcsolatban és a gázok térfogati arányaira vonatkozóan elvégzett mérések. A francia Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850) a XIX. század első negyedében sorozatos kísérletekkel (többek között léghajón 7 km magasra emelkedve) jutott el az általános

²² Előadás a Royal Societyben 1798. január 25-én *An Inquiry Concerning the Source of Heat Which is Excited by Friction* címmel.

gáztörvényig. Daltonnak a kémiai atomfogalmat bevezető, a gázok parciális nyomásainak magyarázatára törekvő munkássága szintén ebbe az irányba mutatott.

A hőtán egyre inkább elméleti jelleget öltött. Megjelent benne a bonyolultabb matematika is. Jean Baptiste Joseph Fourier (1768–1830) 1822-re kidolgozta „a hő analitikus elmélete”-t, vagyis felírta a hővezetés differenciálegyenletét, és a Fourier-sorok segítségével bármilyen hővezetési feladatot meg tudott oldani. Egyetlen komoly probléma merült csupán fel ezzel kapcsolatban, az is inkább nagy híve, lord Kelvin számára: a földtörténetet sejteni kezdő és az evolúcióelméletet valló nem-fizikus tudósok nehezen hitték el a kihűlési modellekből kapott igen csekély Föld-életkort.

Igazán nagy elméletté a hőtán a XIX. század második negyedében vált. A francia Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796–1832) a már ténylegesen működő gőzgépekből kiindulva főleg a kalorikus mechanikai analógia alapján (magasabb hőfok – magasabban lévő víztartály, alacsonyabb hőfok – alacsonyabban lévő víztartály, köztük vízikerek a gőzgép) építi fel az elméletet. Megállapítja az örökmozgó lehetetlenségét, de ennél gyakorlatibb eredményekre is jut, nevezetesen például definiálni tudja a hatásfok és a hasznos munka fogalmát, amellyel aztán majd vissza lehet térni a gőzgépekhez. Ettől kezdve az ilyen gépek fejlesztéséhez már a tudomány is hozzá tud járulni. Carnot elméletét honfitársa, Benoit Pierre Emil Clapeyron (1799–1864) tökéletesíti: egyrészt matematikai formában is megfogalmazza, diagramok segítségével ábrázolja azt; másrészt belátja, hogy a Carnot-féle körfolyamat fordítva is működhet; harmadrészt felírja az ideális gázok, később a folyadékkal egyensúlyban lévő gőz egyenletét.

A klasszikus hőtán fejlődésének csúcspontja az energia megmaradásának kimondása. Természetesen bizonyos formákban a megmaradási törvények már korábban is megfogalmazódtak, gondoljunk csak Descartes-ra, aki szerint a világegyetemben a mozgás mennyisége állandó, vagy akár arra az általános filozófiai elvre, hogy semmiből nem lesz semmi. Itt azonban a különböző fizikai jelenségek valamilyen szempontú ekvivalenciájáról van szó. Ez a problémakör ebben az időben már túlterjed a mechanikán. Emlékezzünk vissza az e fejezet elején emlegetett Schelling-féle romantikus természetfilozófia állításaira. Nos, ezek alapvető szerepet játszottak a német származású Julius Robert Mayer (1814–1878) gondolkodásában. Amikor 1840–41-ben hajóorvosként szolgált, megfigyelte, hogy a matrózok artériás és vénás vérének színkülönbsége a trópusokon jóval kisebb, mint a magasabb szélességi fokokon. Ebből következtetett arra, hogy az energia megmarad, a hő és a mechanikai munka kölcsönösen egymásba alakulhatnak. Persze másféle számításokat is végzett, de fellépése nem volt túl sikeres: amikor meggondolásai és számításai alapján 1841-ben cikket akart megjelentetni az energia megmaradásáról, és korábban már kivételként egy schellingi tételre hivatkozva indítja a gondolatmenetet,

„Az erők okok: ennek megfelelően velük kapcsolatban teljes mértékben alkalmazhatjuk a *causa aequat effectum* (az ok egyenlő az okozattal) elvet. Ha a *c* oknak *e* okozata van, akkor $c=e$; ha történetesen *e* egy második *f* okozatnak az oka, akkor $e=f$, és így tovább: $c=e=f\dots=c$. Az okok és okozatok láncolatában egyetlen tag vagy egy tag egyetlen része sem tűnhet el, ahogyan ez világosan következik az

egyenlet természetéből. Minden ok eme első tulajdonságát *elpusztíthatatlanságuknak* nevezzük.”²³

akkor írását a fizikusok nem akarják leközölni (e cikk, amely elsőként szól a hő- és a mechanikai energia ekvivalenciájáról, így csak egy évvel később, egy kémiai folyóiratban jelenik meg).

Kicsit jobban járt ugyanebben az időben Dalton tanítványa, James Prescott Joule (1818–1889), aki tisztázta az elektromos áram hőhatását, és kalorikus mérései segítségével megállapította a hő mechanikai egyenértékét. Az energiamegmaradás törvényét azonban végleg a részben szintén Schelling hatása alatt álló német orvosnak, Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz-nak (1821–1894) sikerült elfogadtatnia, bár neki sem azonnal. A német felsőoktatás és tudományos élet megszervezésében kimagasló szerepet játszó tudós általános megfogalmazásában a törvény kiterjedt a mechanikai, hő, elektromos, fiziológiai stb. jelenségekre egyaránt.

Nem is szükséges tovább követnünk a hőtan történetét (pl. az entrópiatörvény felé) ahhoz, hogy megállapíthassuk: tisztán mechanikai elképzelésekből, analógiákból kiindulva egy olyan tudományág keletkezett, amely nem volt benne a newtoni mechanikában – tehát önállóan számít; amely ugyanolyan egzakt formában tárgyalható, mint a mechanika; amelynek hatókörébe beletartozik a mechanika is, de annál jóval szélesebb; amely ugyanolyan sikeres, mint a mechanika. A hatóköréről a termodinamika híveinek egy része azt állítja, hogy itt valójában nem is a fizikai valóság egy adott speciális területéről van szó, amelyre a hőtan vonatkozna, hanem inkább olyan univerzális kerettörvényekről, amelyek minden területen egyformán érvényesek. A termodinamika eszerint nem is elmélet, hanem módszer. Mindenesetre az tény, hogy az energiamegmaradás törvényét a siker miatt éppúgy kiterjesztik a fizika egészére, a fizikán túlra (pl. a kémiában ebből ered a fizikai kémia), a világ egészére, mint korábban a mechanikai képet. Az energetizmusból még rövid életű filozófiai irányzat is lett.

C) Új axiomatizálás

Kiss Olga

A geometria euklideszi rendszere – mint erről már szóltunk – két és félezer éven a tudomány eszményi formáját jelentette a gondolkodók számára. Ma mégsem ezen az úton építjük fel axiómarendszereinket. Emlékszünk, az *Elemek* az alapfogalmak tisztázására szánt definíciókkal kezdődött, s ezt követték a posztulátumok és axiómák. A mai axiómarendszerek nem ilyenek. Vegyük például ellenpontként a geometria hilberti axiómarendszerét²⁴ 1899-ből – mely a mai egyetemi tankönyvek alapjául is szolgált. A következőket látjuk:

I. Illeszkedési axiómák

(Például: I_1 Minden egyenesnek van legalább két pontja, I_2 Bármely két pont egyértelműen meghatároz egy egyenest, mely ezeket tartalmazza...)

²³ J. R. Mayer: Megjegyzések a szerves természet erőiről. *Annalen der Chemie und Pharmacie* 42 (1842), 233. o.

²⁴ David Hilbert: *Grundlagen der Geometrie*, 1899.

II. Rendezési axiómák

Pl. II1 Ha egy egyenes két pontja A és B , akkor van az egyenesen olyan C pont, melyet B elválaszt A -tól...

Ezek között találhatjuk a nevezetes Pasch axiómát: Ha egy háromszög síkjában lévő egyenes nem halad át a háromszög egyik csúcsán sem, de metszi a háromszög egyik oldalát, akkor ez az egyenes metszi a háromszögnek még egy oldalát.

III. Egybevágósági axiómák

Pl. Ha adott egy a szakasz és egy O kezdőpontú félegyenes, akkor van a félegyenesen olyan A pont, melyre $OA = a \dots$

IV. Párhuzamossági axióma

(Ezt ma általában az euklideszi helyett a Proklosztól származó formában mondják ki)

Ha adott a síkban egy egyenes, és egy rajta kívül eső pont, akkor e síkban csak egy olyan egyenes van, mely a megadott ponton áthalad és az adott egyenest nem metszi.

V. Folytonossági axióma (Dedekind-féle axióma)

Ha az egyenes pontjait úgy soroljuk két osztályba, hogy egyik osztály se legyen üres és egyik osztályba tartozó pont se válasszon el másik osztályba tartozó két pontot, akkor van olyan pont, amely bármely két tőle különböző és más-más osztályba tartozó pontot elválaszt.

Ezek részben megfelelnek az euklideszi axiómáknak, részben nem. Pillanatnyilag azonban nem is ez a fontos. Pusztán arra a tényre szeretném felhívni az olvasó figyelmét, hogy eltűntek a rendszer elejéről a definíciók. De hova lettek és miért nincsenek itt? Ezt a kérdést vizsgáljuk meg a következő fejezetben.

1. Projektív geometria

Már Eukleidész *Optikája* és a *Katoptrika* is foglalkozott azzal, hogyan változnak meg az alakzatok tulajdonságai vetítés és tükrözés hatására. Apollonius és Papposz is felfedezett néhány olyan tételt, melyek központi jelentőségűek e területen, a projektív geometria azonban mint önálló kutatási terület még nem létezett az antikvitásban.

A reneszánsz idején a perspektíva felfedezése és alkalmazása Pietro della Francesca és Brunelleschi tevékenysége nyomán az ábrázoló geometria megszületéséhez vezetett. Alberti (*Della Pittura*, 1435 és *Ludi Mathematici*, 1450) megfogalmazta, hogy a kép a festendő tárgy pontjait a nézőponttal összekötő sugárnak a képsíkkal való metszéspontjában keletkezik. Dürer (*Underweysung der Messung mid den Zyrkel und Rychtscheyd*, 1526) a perspektivikus kép szerkesztéséről szólva meghatározta a méretezés módját is azzal, hogy a képet berácsozta, s e segédvonalak mentén már könnyen meghatározhatóak lettek a helyes arányok.

A matematikailag izgalmas kérdés azonban itt az volt, hogy a tárgy különböző képei miben hasonlítanak, azaz milyen tulajdonságot őriznek meg az eredetiből. Girard Desargues 1639-ben egy rövid pamfletben (*Bruillon projet d'une atteinte aux évènements des recontres d'un cone avec un plan*, azaz *Javasolt kísérlettervezet arra vonatkozóan, miként kell eljárni, ha egy kúp egy síkkal találkozik*) megmutatta, hogy – a mi kifejezésünkkel élve – a projekció kettősviszony tartó, azaz A, B, C, D egy egyenesre eső pontok valamint A', B', C' és D' szintén kollineáris képpontjainak előjeles távolságait tekintve

$$(AC/CB)/(-AD/DB) = (A'C'/C'B')/(-A'D'/D'B').$$

Mivel minden kúpszelet előállítható egy egyenes körkúp valamely síkkal való metszeteként, Desargues a kúpszeleteket, érintőiket és húrjaikat a kör megfelelő érintőinek és húrjainak képeként állította elő. Ez egységes tárgyalást tett lehetővé számára, melynek segítségével számos tételt egyszerűbben tudott bizonyítani.

Még egy jelentős újítása volt, amely azonban jelentősen meg is osztotta a matematikus közvéleményt. A képsík és a vetítési pont alkalmas megválasztásával két párhuzamos egyenest egymást metsző egyenesekbe vihetünk át (így lesz például a perspektivikus ábrázolásban a képsíkra merőleges párhuzamosok képe olyan, hogy metszik egymást a horizont egyenesén), és persze megfordítva: metsző egyeneseket is párhuzamosokba vihetünk át. A projekció tehát nem tesz különbséget metsző és párhuzamos egyenesek között. A megfeleltetéshez Desargues bevezette a sík végtelenül távoli (ideális) pontjainak, és ezek összességüként a végtelenül távoli ideális egyenes fogalmát. Így két párhuzamos egyenes közös pontja egy ideális pont lesz, melynek képe az említett projekcióban a képegysenesek metszésponja. (A parabolához, mint a kör projektív képéhez egy, míg a hiperbola(pár)hoz két képzetes pont tartozik).

Desargues pamfletjének ötven példánya kézről kézre járt Párizsban, míg mindegyik el nem vészett. Nemcsak gondolatainak újdonsága, de kifejezésmódjának nehézkessége, csiszolatlansága is oka lehetett annak, hogy egyesek ünnepelték, míg mások hevesen bírálták gondolatait. Még barátja, Descartes is nehezen érthetőnek tartotta a művet. Az ifjú Pascal azonban lelkesen olvasta az új gondolatokat, és az általa felfedezett (s róla elnevezett) tétel később nagy jelentőségűvé vált a projektív geometriában. Ennek ellenére a következő másfél évszázadban voltak még ugyan, akik foglalkoztak a projektív transzformációk sajátosságaival – mint pl. Newton az *Optikában* (1704), a XVIII. század végének nagy matematikusai azonban nem tulajdonítottak túlzott jelentőséget e kérdéskörnek.

A projektív geometriát végül a XIX. század elején Monge fedezte fel újra, aki az *Ecole Polytechnique*-on tartott előadásai révén iskolát teremtett Franciaországban e terület művelésének. Tanítványa, Jean-Victor Poncelet az ideális térelemeket már teljesen egyenértékűnek tekintette a közönségesekkel. Felismerte, és 1818-ban publikálta Crelle folyóiratában a dualitás elvét. Az ideális térelemek segítségével egyszerűbben lehetett kezelni számos tételt, melyet eddig külön kellett kimondani párhuzamos és egy ponton keresztülhaladó sugársorokra. A sík projektív geometriájában a pont és az egyenes felcserélhető egymással. Azon túl, hogy az ideális elemekkel bővített síkon igaz az az euklideszi axióma, hogy bármely két pont egyértelműen meghatároz egy rajtuk áthaladó egyenest, igaz ennek duálisa is, hogy ti. bármely két egyenesnek egy és csak egy közös pontja van. (A térbeli dualitás a pontnak síkot, a síknak pontot és az egyenesnek egyenest feleltet meg.) A dualitás elve pedig lehetővé teszi, hogy egyes – pontok és egyenesek illeszkedésére vonatkozó – tételeket egymásnak megfeleltetve, elegendő legyen az egyiket bizonyítani, a másikon pedig erre a bizonyításra és a dualitás elvére hivatkozni.

2. Az analízis megalapozása

Már volt szó a végtelenül kicsiny (nullánál nagyobb, de bármely véges számnál kisebb) mennyiségekkel, azaz infinitezimálisokkal kapcsolatos megfontolásokról. Ezek segítségével született meg az ógörög Eudoxosz kimerítési eljárásából kiindulva a XVII. században kidolgozott módszerrel az integrál- és differenciálszámítás. Az infinitezimálisokkal való számolás sok esetben igen hatékony volt: például vegyük a már az újkori résznél emlegetett normál parabolánkat. Ennek függvényalakja $f(x) = x^2$, és legyen x végtelenül kicsiny megváltozása a ; ekkor az említett érintő meredekségét (XVIII. századi stílusban) akár így is közelíthetem:

$$(f(x+a) - f(x))/a = ((x+a)^2 - x^2)/a = (x^2 + 2ax + a^2 - x^2)/a = (2ax + a^2)/a = 2x + a = 2x(!)$$

(A mai olvasónak persze égnek áll a haja, ha ilyet lát.)

Egészen az utolsó előtti lépésig egyszerű algebrai átalakításokkal jutottunk, az utolsónál pedig figyelembe vettük, hogy a végtelenül kicsiny, ezért elhanyagolható. Ez a gondolatmenet, bár helyes eredményre vezet, mégsem teljesen meggyőző. Azt ugyanis, hogy miért éppen ezen a ponton hanyagoltam el a -t, egyáltalán nem tudom mással alátámasztani, mint az eredmény helyességével. A számolás azonban éppen akkor jó, ha ki tudok vele számolni olyasmit is, amit még nem tudok. Ahhoz tehát, hogy az eljárás megbízható legyen, éppen azt kellene tudni, pontosan mikor és miért tekinthetem nullának a számításban szereplő infinitezimálisokat.

Az alapok hiányának problémáját már George Berkeley felvetette (*The Analyst*, 1734), filozófiai érvei azonban nem jelentettek pozitív megoldási lehetőséget a matematikusoknak. A XVIII. század folyamán azonban a Bernoulliak (Daniel, Jacob és Johann), Euler, Clairaut, Lagrange és Laplace új technikákat dolgoztak ki és vezettek be a kalkulusba, mint például a variációszámítást vagy a parciális differenciálegyenletek vizsgálatát. A görbék geometriai jellegű tanulmányozása így fokozatosan átadta a helyét a változó mennyiségek közötti összefüggések tanulmányozásának, egyenletek osztályozásának és megoldási módszerek keresésének. Euler (*Introduction in analysin infinitorum*, 1748) Bernoulli függvénydefiníciója mentén új módon építi fel a kalkulust, melynek így már nincs közvetlen geometriai értelmezése. Euler mechanikához közeli értelmet ad a differenciál- és integrálszámításnak, mely ennek következtében jól használható az alkalmazott területeken.

A tisztázás folyamata a kezdetektől fogva több irányban haladt. A francia forradalom idején két alapvetően különböző iskola körvonalai rajzolódnak ki előttünk. Az egyik középponti alakja Monge, az ábrázoló geometria megteremtője, a másiké Lagrange, aki – többek között – az analízis pusztán algebrai eszközökkel történő felépítésével írta be nevét a matematika történetébe.

Lagrange az analízis szigorú megalapozásán dolgozott. Célja az volt, hogy kiküszöböljön belőle minden geometriai szemléletre történő utalást, és a végtelen sorok algebrájára alapozza a kalkulust (*Theorie des fonctions analitiques* illetve *Discours sur l'object de la theorie des fonctions analitiques*). A matematikusok és az egyetemekre a forradalom révén bekerülő rengeteg hallgató számára egyaránt fontos volt a logikus és szisztematikus felépítés, melyet Lagrange az algebra jól ismert szabályaira alapozott. Akkoriban nem volt szigorú határvonal a kalkulus és alkalmazásai, avagy a tiszta matematika és a matematikai fizika között. Lagrange könyvet írt *Mécanique analytique* címmel (1788), és a manapság inkább fizikusként ismert Laplace az Ecole Normale professzoraként a mechanika analitikai felépítésén dolgozott. Az egész mechanikát néhány természettörvény matematikai rendszerévé akarta alakítani, ahol az egyes fizikai jelenségeket a törvényeket jelentő differenciálegyenletek kezdeti értékeinek és határfeltételeinek segítségével tudná magyarázni. Kettejük tevékenysége abban fűzhető közös programmá, hogy az elmélet tökéletesítése mindkettejükénél formalizálást jelentett. Arra törekedtek, hogy az érvelésből kizárják a geometriai szemléletre történő utalást, és a szabályok alkalmazásával teljesen mechanikusan, a pusztá deduktív logika mentén lehessen eljutni érvényes eredményekhez.

Érdeemes megfigyelni velük szemben Monge álláspontját. Véleménye szerint az analízis csupán térbeli alakzatok mozgásának leírása (*Geometrie descriptive*). Az, hogy a klasszikus geometria nem tette lehetővé az analízis jelenlegi formájának megalapozását, őt nem a szemléletes-geometriai megközelítés és megalapozás elvetéséhez, hanem a geometria megújításához vezette.

Az analízis mai formáját a XIX. században vette fel. A 20-as 30-as években Cauchy, az Ecole Polytechnique (Párizs) tanára a változó mennyiségek (egyváltozós függvények) sajátosságaira

alapozva építette fel kalkulusát. Alapfogalmi: a konvergencia és a folytonosság, melyek definícióit a mai fogalmaink első formáinak szoktak tartani a történészek, annak ellenére, hogy még nem pontbeli folytonosságról beszél. Cauchy után a változó mennyiségek fokozatosan elvesztették alapfogalom-jellegüket, és a számok (illetve pontok) halmazai kerültek a helyükre. Ezt a folyamatot nevezte Felix Klein az analízis aritmetizálásának. Karl Weierstrass a század második felében Berlinben tartott előadásain már azon a módon definiálta a folytonosságot, ahogy azt mi is ismerjük, ϵ -szonnal és δ -tával, rögzített független változóra. A kis intervallumban való folytonosság pedig ennek összes pontjában való folytonossággal lett definiálva. Így Cauchy és Weierstrass munkásságával letisztultak az analízisben használatos alapvető fogalmak: sorozat, sor, konvergencia, határérték, elemi függvény..., s egyben a valós számok elmélete is kielégítő megfogalmazást nyert.

3. Az algebra átalakulása

Már volt szó róla, hogy az araboktól átvett retorikus algebra – a kivonás és összevonás tudománya – helyét a XVI. században átvette a képletekkel dolgozó szimbolikus algebra. Strukturális változás azonban még nem következett be. Továbbra is az egyenletek megoldásával foglalkozott, ennek módszereit kutatta. Volt szó arról is, hogy Tartaglia és Cardano megtalálták a harmadfokú, Ferrari pedig a negyedfokú egyenlet megoldóképletét. A negatív számokra vonatkozó műveleti szabályok felhasználásával Viète egységesíteni tudta a különböző típusú harmadfokú egyenletek kezelését. De mi a helyzet az ötödfokú egyenlettel?

Ráadásul a módszert, melyet Cardano, Niccolo Tartaglia és Lodovico Ferrari használt, nem minden esetben lehetett alkalmazni. Voltak olyan helyzetek, amikor a harmadfokú egyenletnek van természetes szám gyöke, a megoldóképlet mégis értelmetlenné válik, mert negatív szám lesz a négyzetgyök alatt. Ilyen például az

$$x^3 = 7x + 6.$$

Ez az ún. *casus irreducibilis*. Nehéz ügy. Már Cardano észrevette, hogy valamiképpen a „mínusz gyöke” eltűnik, és foglalkozott az esettel, de ennél sokkal többre nem jutott. Raffaello Bombelli volt az, aki elsőként számnak tekintette a negatív számból vont négyzetgyököt is, és megfogalmazta a rájuk vonatkozó szorzási szabályokat (*Algebra*, 1572, Milánó). Ez annál is inkább jelentős, mert akkoriban még a természetes számok negatívjai sem nyertek polgárjogot a számok körében. Bár már Luca Pacioli talált jelölést a számukra (*Az aritmetika, a geometria, az arányok és arányosságok összefoglalása*, 1494, Velence), és ezt Chuquet is használta, Cardano azonban csak fiktív számoknak tartotta őket. Stiefel – noha ő az első, akinél a jelölésben is kifejeződik, hogy 0-nál kisebb számokról van szó, hisz $0 - n$ alakban írja őket – csak abszurd számoknak nevezte a negatívokat (*Arithmetica integra, azaz Teljes aritmetika*, Nürnberg, 1544). Viète sem – aki pedig nagy lépéseket tett az egyenletmegoldás egységesítése felé (általános eljárás keresése, betűkkel felírt ismeretlenek és együtthatók, mint jelölésbeli újítás) – vette figyelembe a negatív gyököket. Descartes is hamisnak nevezi az ilyen gyököket. Már számoltak velük, de még egy ideig eltartott, amíg számként elismerést nyertek a matematika világában.

Amire itt vissza szeretnék térni, az Bombelli, akinek képzetes számai is akkor váltak egyöntetűen elfogadottá, amikor 1830-ban Gauss – rendezett párként koordináta-rendszerbe helyezve őket – megadta a komplex számok általános elméletét. *Disquisitiones arithmeticae* (azaz *Aritmetikai vizsgálatok*, 1801) című munkájában foglalkozott az olyan $a + bi$ alakú komplex számok tulajdonságaival, melyeknél az a és b racionális szám. Ők azért érdekesekek, mert körükben

az oszthatóság alaptulajdonságai éppúgy érvényesülnek, mint az egész számok körében. Ezért is nevezik őket Gauss egészeknek, s velük kezdődött a kommutatív gyűrűk tanulmányozása.

Gauss számos más csoportot is vizsgált Aritmetikájában. Augustin Louis Cauchy (akiről az analízis megalapozása kapcsán már esett szó) 1815-ben jelentetett meg egy munkát a permutáció-hozzárendelésekről. Ezek csoportját vizsgálva fogalmazta meg azt a tételét, hogy ha egy csoport rendje (ez véges csoport esetében az elemeinek a számával azonos) osztható egy p prímmel, akkor van p -edrendű részcsoportja.

Közben Euler az algebrai egyenlet gyökeit és azok racionális függvényeit vizsgálta. Megállapította, hogy ha egy adott egyenlethez létezik a gyököknek olyan racionális függvénye, mely nem változik, ha a gyököket benne felcseréljük (azaz invariáns a gyökök permutációira), akkor ez a függvény az egyenlet együtthatóinak is racionális függvénye. Miért érdekes ez? Mert amikor az egyenlet megoldóképletét keressük, akkor éppen az együtthatókból szeretnénk valamiképpen előállítani a gyököt. Az algebrai alakban való előállíthatóság azt jelenti, hogy az alpműveletek (összeadás, kivonás, szorzás, osztás) és a gyökvonás segítségével véges sok lépésben előállítható. Lagrange és Ruffini (*Theoria generale delle equazioni, Az egyenletek általános elmélete*, 1799) a gyökök permutációval szemben invariáns függvényeket vizsgálva a gyökök permutációinak csoporttulajdonságai alapján tett kísérletet arra, hogy megmutassa: az ötöd- és magasabb fokú egyenletekerekere nincs általános megoldóképlet. A bizonyítást végül Abel adta meg (*Démonstration de l'impossibilité de la résolution algébrique des équations générales qui passent le quatrième degré*, 1826).

Nem kell tehát tovább keresni azt, ami nincs. De vajon miért éppen az ötödfokútól kezdve nem létezik ilyen? Évariste Galois fiatal francia matematikus a halálát okozó végzetes párbaj előtti éjszakán vetette papírra erre vonatkozó nézeteit. Az ő alapgondolata az volt, hogy amikor a megoldóképletet keressük algebrai kifejezés alakjában, valójában a racionális számokhoz veszünk hozzá véges sok gyökös kifejezést, s ezekre a négy alpműveletet alkalmazzuk. Mi történik ilyenkor? Egyes gyökös kifejezést (mondjuk $\sqrt{2}$) hozzávéve, az így létrejött struktúra (test) továbbra is zárt lesz, azaz a műveletek elvégzése nem vezet ki ebből a körből. Más esetekben – például a $\sqrt[3]{2}$ -nél – már nem elég ezt hozzávenni, hiszen a szorzás révén előkerül a $\sqrt[3]{4}$ is. Ha azonban ezt is hozzá vesszük, akkor az így létrejött struktúra már ismét zárt. Ha tehát az egyenletek megoldásához szükséges testbővítéseket vizsgálánk, közelebb jutnánk a megoldhatóság kérdéséhez. Galois zseniális ötlettől indítva az egyes testbővítésekhez rendelt csoportokat, mégpedig a gyökök között fennálló racionális összefüggéseket helybenhagyó permutációk csoportját. A testbővítések csoportjainak Galois-féle vizsgálatából két nagyon lényeges gondolat következett. Az egyik az algebrai: az általános ötöd- (és magasabb) fokú egyenletre vonatkozó megoldóképlet hiányáról. A másik pedig egy klasszikus problémáról: az euklideszi (körzövel és vonalzóval való) szerkesztés lehetőségéről. Descartes algebrai megközelítése és Galois elmélete alapján bizonyítható, hogy a kockakettőzés, a szögharmadolás és a szabályos hétszög szerkesztése pusztán körző és vonalzó felhasználásával nem végezhető el.

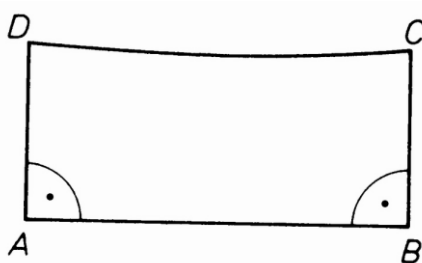
Ezek az eredmények azonban a legkevésbé sem jelentették az algebrai kutatások végét. Ellenkezőleg. A különböző testek, gyűrűk és csoportok tulajdonságainak fontossága az algebrai struktúrák általános vizsgálatára irányította a figyelmet. Ezzel az algebra alapvetően átalakult, és elnyerte mai formáját. Milyen messze kerültünk Al Hvárizmi algebrájától!

4. Nem-euklideszi geometriák

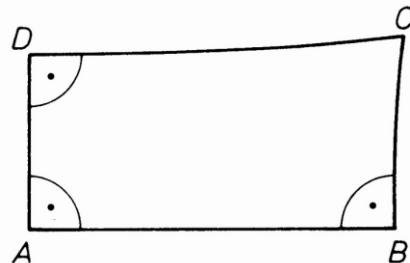
A görög matematika tárgyalásakor részletesen foglalkoztunk az euklideszi geometria felépítésével. Arról is esett már szó, hogy ez a rendszer kétezer éven át a szigorú logikai rendszer és a tudományosság mintaképe volt. A *more geometrico*, azaz geometriai módon való bizonyítás az egzaktság ideális fokát jelentette nemcsak a matematikában, de a természettudományokban és a filozófiában is.

Volt azonban a rendszernek egy pontja, melyet megalkotása óta kétely kísért. Ez a – feltehetőleg a rendszert összeszerkesztő Eukleidész által megfogalmazott – párhuzamossági posztulátum. Formájában és megfogalmazásmódjában is eltér a többitől, azoknál bonyolultabb, körülményesebb. Ráadásul a geometria számos tétele nélküle is bizonyítható. Már az ókorban felmerült hát a kérdés, hogy nem lehetne-e a geometriát enélkül felépíteni. Ez egészen pontosan úgy fogalmazódott meg, hogy vajon a párhuzamossági posztulátum nem bizonyítható- e a többi axióma és posztulátum segítségével.

Már az ókorban is többen – például Ptolemaiosz és Proklosz is – próbálkoztak ezzel. Az előző ezredfordulón egy Alhazen nevű arab tudós fizikus foglalkozott a kérdéssel, hogy vajon nem lehetne-e bebizonyítani a párhuzamossági posztulátumot az euklideszi axiómarendszer többi feltevéséből. Kiindult egy olyan négyszögből, melynek három derékszöge van (Lambert-féle négyszög), és bebizonyította, hogy a negyedik is az. Sajnos a bizonyításhoz – anélkül, hogy észrevette volna – a párhuzamossági axióma (vagy posztulátum – a mi szempontunkból már nincs jelentősége a megkülönböztetésnek) egy ekvivalens helyettesítőjét használta fel. Alhazen bizonyítását kritizálva Omar Khajjám olyan négyszöggel próbálkozott, melynek két oldala egyenlő hosszú és merőleges a harmadikra (Saccheri-féle négyszög), ám a bizonyításhoz ő is felhasznált egy helyettesítő axiómát. Nasziraddin csillagász-matematikus a XIII. században szintén foglalkozott e kérdéssel – az ő közvetítésével jutottak el Európába a párhuzamossági posztulátummal kapcsolatos problémafelvetések. Wallis ugyanis a XVII. században lefordította könyvét. Feltehetőleg e mű hatására kezdett Giovanni Girolamo Saccheri a téma vizsgálatába. Ő azonban – és itt számunkra ez az, ami igazán jelentős – indirekt bizonyítással próbálkozott. Könyve, *A minden folttól megtisztított Eukleidész ... (Euclides ab omni naevo vindicatus: sive conatus geometricus quo stabiliuntur prima ipsa universae Geometriae Principia)* 1733-ban jelent meg, és három olyan esetet különböztet meg, ami felmerülhet: a négyszög mindkét másik szöge vagy derékszög, vagy hegyesszög, vagy tompaszög. Úgy vélte, meg tudja mutatni, hogy a második és a harmadik eset ellentmondásra vezet. Nem kell ismételnünk, hogy amivel ellentmondásra jutott, az ismét csak nem a maradék axiómarendszer, hanem a párhuzamossági axióma egy újabb alakja.



Saccheri-négyszög



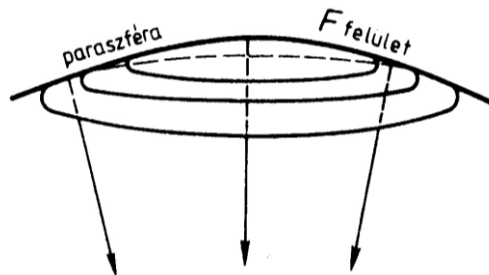
Lambert-négyszög

Lambert, aki 1766 táján hasonló kérdésekkel foglalkozva – szintén indirekt megközelítéssel próbálkozott – számos különös sajátosságát fedezte fel e síkidomoknak, pl. hogy a háromszög

szögeinek összege kisebb (illetve – a másik esetben – nagyobb), mint két derékszög. Sőt, a gömbi geometria háromszögeinek területképletét felfedezve a levezetett összefüggések között, ennek analógiájára bevezette r képzetes sugarú gömböt, teljesen formális alapon, nem gondolva, hogy ennek bármiféle valóság tartalma lehet. Lambert tehát számos nem-euklideszi tételt fogalmazott meg anélkül, hogy ezeket egy önálló geometria tételeinek tartotta volna. Számára ezek minden alkalommal újabb és újabb megcáfolandó eredményt jelentettek. Végül nem találva az ellentmondást, ezt saját ügyetlenségének tulajdonította.

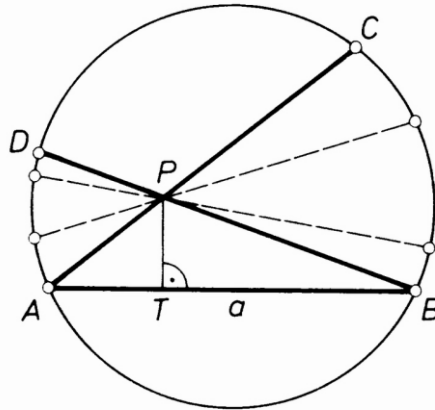
Legendre 1800-ban (első szögtételében) megmutatta, hogy az egyik eset valóban ellentmondásban van a maradék axiómarendszerrel: a háromszög szögeinek összege nem lehet nagyobb két derékszögnél. Második szögtétele pedig azt mondja ki, hogy ha egy háromszögben a szögek összege két derékszögnél kisebb, akkor mindegyikben az. Ezután megpróbálta bizonyítani, hogy ilyen háromszög nincs.

Összegezve azt mondhatjuk, hogy mindezek a próbálkozások – Lambert szögtételeit leszámítva – vagy kudarccal végződtek, vagy a párhuzamossági posztulátum ekvivalens megfogalmazásait használták a bizonyításhoz explicit vagy implicit módon. Mégis közelebb vittek azonban valamihez, ami azután megrengette a matematika objektivitásába vetett hitet, és egy egészen újfajta matematika-felfogást eredményezett.



Bolyai János és Nyikolaj Ivanovics Lobacsevszkij nagyjából egyszerre fedezték fel, hogy a 180° -nál kisebb esetre az ellentmondást azért nem találják, mert nincs. A tér egy új, az euklideszivel egyenértékű tudományát fedezték fel. Azt ugyan nem tudták bizonyítani, hogy ellentmondásmentes, ám azt igen, hogy az euklideszi geometriának van megfelelője ebben a világban. A hiperbolikus geometriában a paraszférán teljesülnek az euklideszi síkra vonatkozó axiómák, ha sík alatt a paraszférát, egyenes alatt pedig a paraciklusokat értjük.

Ahhoz, hogy a relatív ellentmondásmentességet a másik irányba is megmutassák, saját elméletükre modellt kellett volna adni az euklideszi síkon. Ez félszáz évvel később a Cayley–Klein modellben meg is valósult.



A Cayley–Klein modell

Legyen ugyanis a sík egy nyílt körlap az euklideszi síkon, az egyenesek az euklideszi egyenesnek a körlapon belüli részei. Itt egy adott ponton keresztül több párhuzamos is húzható egy egyenessel, így a párhuzamossági posztulátum nem teljesül.

Ha a két pont (P és Q) távolságát Cayley egy ötlete alapján úgy definiáljuk, hogy legyen

$$d(P, Q) = -\left(\frac{1}{2}\right) \log \left(\frac{AP : PB}{AQ : QB} \right)$$

akkor ez egyrészt kielégíti a távolságra vonatkozó követelményeket: mindig nemnegatív, akkor és csak akkor nulla, ha a két pont egybeesik, és az egy egyenesen levő pontokra

$$d(P, R) = d(P, Q) + d(Q, R)$$

(Cayley: *A sixth memoir upon quantics*, 1859), másrészt pedig kielégíti a maradék axiómarendszer axiómáit.

Klein modell módszerét, mellyel bizonyította, hogy a nem-euklideszi geometria ellentmondásmentes, ha az euklideszi is az, ma is használják relatív ellentmondásmentességi bizonyításokra.

5. Filozófiai viták – új alapok

Miért is volna szükség új alapokra? A matematika éppen virágzó korszakát éli. Soha ennyi új eredmény, a megközelítésmódoknak és ötleteknek ilyen gazdagsága nem jellemezte e tudományt. Tekintélye csorbíthatatlan, számos más tudomány éppen az az euklideszi axiómarendszer mintájára igyekszik felépíteni saját elméleti rendszerét. Az igazán sokat támadott új tudományág, az analízis is szigorú megalapozást nyert Cauchy és Weierstrass tevékenysége révén. Nem tűnik éppen válságosnak a helyzet. Hát akkor?

Mai fejjel visszatekintve talán már az sem teljesen világos, miért volt olyan nehéz elfogadni, hogy másfajta geometria is lehetséges. Miért tűnt ez annyira abszurdnak számos matematikus számára, holott már szinte kezükben volt a megoldás? Miért hivatkozott például Gauss az olvasók értetlenségére, amikor (egy Taurinushoz írott levelében) amellet érvelt, hogy miért nem hozta nyilvánosságra saját ezirányú eredményeit? Sőt, miért kérte Taurinust is arra, hogy eredményeiből semmit se publikáljon? Mitől volt ennyire titkolandó egy új matematikai elmélet?

A geometria mint a tér tudománya valamiképpen arról szólt, hogy milyen a világ. Két nagy filozófiai irányzat játszott döntő szerepet az európai kultúra geometria-felfogásában: a platóni és

az arisztotelészi. Platón szerint a geometria az ideális objektumokkal foglalkozik, melyekben minden felszíni esetlegességen túl a lényegi összefüggések mutatkoznak meg. Az arisztotelészi felfogás a geometria formájára helyezi a hangsúlyt: az axiomatikus rendszerre. Az általános elvek (axiómák, posztulátumok) a legelvontabb, tapasztalati valóságtól legtávolabbi összefüggéseket jelentik. Természetesen mindkét álláspontot egyszerre is el lehetne fogadni – mindkettő a matematika tényleges tapasztalatán alapul –, mégis vitában álltak egymással évszázadokon keresztül. Ha csak ennyit mondunk róluk, akár összebékíthetők is lennének mondván, a legelvontabb összefüggések, melyekhez a legnehezebben jutunk el, ugyanazok, mint amelyek a legtávolabbi esnek az érzéki tapasztalat körétől. Mégsem ez történt. Az európai kultúrát születése óta formáló e két nagy filozófiai tradíció közötti feszültség döntő szerepet játszott a matematikáról szóló viták alakulásában is.

A geometria és a bennünket körülvevő fizikai tér kapcsolatát Newton tette explicitté mechanikájában. (Emlékszünk, Arisztotelész korában a matematika még csupán az égi jelenségek leírásában volt alkalmazható. A „hold alatti” fizikája csak másfél ezer év múlva vált a matematika számára megközelíthető területté. Ennek világos megfogalmazása volt Galilei már említett mondása arról, hogy a természet könyve a matematika nyelvén íródott.) *A természetfilozófia matematikai alapelveiben* (*Principia mathematica philosophiae naturalis*, 1687) Newton ezt írja:

„Az abszolút ér, saját lényegénél fogva, külsőleg egyáltalán semmihez sem viszonyítva, mindenkor egyenlő és változatlan marad. A relatív tér az előbbinek a mértéke, vagy ennek valamilyen mozgó része, amely a testekhez viszonyított helyzete következtében válik érzékelhetővé, és ezért közönségesen mozdulatlan térnek tekintjük. ... Az abszolút és a relatív tér jellegüket és mértéküket tekintve azonosak, de számszerűleg nem mindig egyenlők.”²⁵

Ezt az abszolút teret valódi vagy matematikai térnek is nevezhetjük. Ekkor az általunk tapasztalt közönséges tér és idő „relatív” lesz, azaz viszonylagos, látszólagos, a mérésben megjelenő. Az abszolút tér a valódi, – euklideszi mintára – mindig mindenhol hasonló, minden külsőtől független és mozdulatlan, s a relatív tér ebben csupán a dimenzió vagy a mérték, melyet érzékeink határoznak meg a testekhez képest. Az abszolút (matematikai) és a relatív (fizikai) tér ilyenén összekapcsolása a kifejtés axiomatikus módszerével együtt nem erőssé tette Newton Principiáját egy olyan világban, ahol a matematikai módszerek alkalmazása az egzaktságot jelenti. Az égi és földi fizika e nagy szintézise több mint kétszáz éven át irányította a mechanikai kutatást, és ma is a mérnöki tudományok hasznos eszköze.

Túl azonban, hogy jól működik, teoretikus alapja is volt a fizikai és geometriai tér összekapcsolásának. Immanuel Kant *A tiszta és kritikájában* a teret és az időt mint érzéki szemléletünk formáit írja le: egyszerűen térben és időben tapasztaljuk a világot. Akkoriban ezt úgy értelmezték, hogy Kant az egyetlen lehetséges geometria eszméjéhez nyújtott filozófiai támaszt. A sors iróniája azonban, hogy éppen Kant filozófiája lett a kiindulópontja annak a fenomenológiai mozgalomnak, mely ma már az érzéki tapasztalat legkülönbözőbb formáit vizsgálja. Ha ugyanis a teret és az időt valóban szemléleti formáknak tekintjük, ám olyanoknak, melyek nem kizárólagosak, azaz lehetségesek másfajta világai is a jelenségeknek, akkor azt kell

²⁵ Newton: *A természetfilozófia matematikai alapjai*, in: *A Principiából és az Optikából. Levelek Bentleyhez.* ([Téka] Kriterion Könyvkiadó, Bukarest, 1981), 46. o.

mondanunk, hogy az ilyen típusú vizsgálódások elvi alapja nem jöhetett volna létre a kanti természetfelfogás nélkül, mely leválasztotta a tapasztaltat (a természetet) a nem tapasztalható (magánvaló) létezőről.

Most azonban még a XIX. század derekán járunk. A geometria mellett még egy klasszikus terület vár a megújulásra. Az aritmetika, mely a számokról, mint a számolással legszorosabb kapcsolatban levő dolgokról szólt. Azért lehettek a tételei általánosan alkalmazhatóak, mert a megszámlálható dolgok számosságának sajátosságairól szóltak – és itt most a megszámlálhatót és a számosságot még nem cantori halmazelméleti, hanem hétköznapi értelemben véve. Arról szólt tehát, hogy a számok, ahogyan mi ismerjük őket, milyen tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezért is volt olyan nehéz a negatív számok elfogadása. Nem az volt ugyanis nehéz, hogy mondjuk az adósságot vagy a könyvelésben a hiányt jelöljék és számoljanak vele, hanem maga a szemléletváltás. Mi értelme volna ugyanis a hiányt hiánnyal szorozni? És mégis, a negatív számmal való szorzásra kényelmesen kiterjeszthetők a műveleti szabályok. Sőt, ha ezt megtesszük, egy sokkal általánosabb technikát kapunk, azaz több helyzetre tudjuk alkalmazni, ahogy erről már volt is szó. De vajon ez elég ahhoz, hogy számnak tekintsük őket?

Meg ha már technikai kényelemről beszélünk, ott voltak azok a helyzetek, amikor negatív számból kellett volna négyzetgyököt vonni. Mint emlékszünk, Cardano már 1538-ban explicit módon hivatkozik rájuk, Bombelli pedig 1572-ben kidolgozza a képzetesek műveleti szabályait, Mégis csupán az új geometriával nagyjából egy időben a XIX. század első harmadában született meg Gauss és Hamilton révén a komplex számok elmélete. (Az algebrai szám fogalmát ugyan már Fermat megadta, elméletüket azonban szintén csak a XIX. század közepén dolgozta ki Kummer. A valós szám és a folytonosság körüli vitákat pedig akkor még nem is említettük – ezek még a XIX. század végére sem jutottak nyugvópontra, amikor pedig már készen állt Cauchy és Weierstrass szigorú analízise.)

Itt áll tehát előttünk a klasszikus matematika e két alapvető területe, a geometria és az aritmetika a megújulás pillanatában. 1863-ban megjelennek Gauss levelei a nem-euklideszi geometriáról. Lobacsevszkij írásai oroszul már 1835–38-ban ismertek voltak, franciául azonban csak Gauss levelei után jelentek meg. A döntő lépés az volt, amikor 1868-ban megjelent Beltrami írása a nem-euklideszi geometriáról. Ő ugyanis megadta a nem-euklideszi geometria egy modelljét az euklideszi síkon. Ez egy térkép volt, mely a nem-euklideszi kétdimenziós teret képezte le egy körlapra, ahol az egyenesek a körlapon belüli egyenesekbe mennek át Ez az értelmezés beleillett Riemann geometria-felfogásába is. Ő úgy gondolta újrafogalmazni a geometriát, hogy az egy felületet vagy magasabb dimenziójú sokaságot alkotó pontok halmazának vizsgálata, melyen értelmezhető a távolság fogalma. Konstans görbületű felületeken az alakzatok szabadon, torzulás nélkül elmozgathatók. (Konstans pozitív görbületű a gömbfelület – a gömbi geometria már az ókor óta közismert –, nulla az euklideszi sík görbülete, és a konstans negatív görbületű felületen a Bolyai–Lobacsevszkij féle geometria érvényesül.) Azaz az euklideszi geometria csak egy a sok közül.

6. Új axiómarendszerek

Tegyük fel mármost explicit módon a kérdést: miért is kellett újra axiomatizálni a matematikát? Miért nem volt jó a rendszer úgy, ahogy a görögök megalkották? Miért nem az lett a fejlődés útja, hogy az új elméleteket egyszerűen csak hozzávették a régiekhez? Azaz – filozófiailag fogalmazva a kérdést – miért nem kumulatív, az eredmények pusztá felhalmozásával fejlődik a matematika?

Ha csak azt a rövid vázlatot gondoljuk át újra, amit e fejezetben láttunk, akkor is feltűnhet pár különbség. A projektív geometriában a dualitás elve – hogy pl síkbeli esetben a pont és az egyenes egyszerűen felcserélhető a tételekben és a bizonyításokban – arra utal, hogy szerepük szimmetrikus. A projektív geometria axiomatizálásakor ezt tehát érdemes lenne kifejezésre juttatni. Vagy vegyük a nem-euklideszi geometriákat. A Lambert- és Saccheri-féle négyszögek oldala az ábrán görbe, noha egyenes szakaszokról van szó. A hiperbolikus geometriában hasonlóan furcsán fogalmazhatunk: a paraciklusok az egyenesek, és a paraszféra a sík. Történt valami a fogalmakkal, ami korábban elképzelhetetlen volt. Vagy gondoljunk a számokra. Aligha mondhatnánk, hogy $\sqrt{2}$ tagja van a csapatnak.

Ha visszatekintünk a matematika újkori történetére, látjuk, ahogy lassan kezdi mai formáját öltetni. Először is világossá vált az euklideszi geometria és az algebra (ami ekkor még egyenletmegoldásokat jelent) kapcsolata Descartes koordinátageometriájában. A mozgás, az érintők és a területszámítás vizsgálatából megszületett matematikai analízis maga is ebben a koordinátageometriában kezdte meg diadalútját. Galois az egyenletek gyökeinek permutációcsoportjait vizsgálva – tőle származik a csoport elnevezés is – az egyenletmegoldások és a testbővítések között állapított meg összefüggéseket. Az algebra így kezdett a testek és csoportok, s rövidesen a legkülönfélébb algebrai struktúrák vizsgálatával foglalkozni. Ehhez Cayley (1863-tól) a csoportelmélet rendszeres megalapozásával, Jordan (1870: *Traité des substitutions et des equations algébriques*) az izomorfia fogalmának megteremtésével, Steinitz az izomorfiaelv megfogalmazásával, Lie pedig a folytonos transzformációcsoport fogalmának bevezetésével járult hozzá.

A filozófiai vitákat éppen Cantor cikke a végtelenről (1874) tartja mozgásban. Halmazelmélete a matematika legáltalánosabb fogalmait vizsgálja. 1898-ra már meg is születik a számelmélet formális axiomatikus halmazelméleti felépítése (Giuseppe Peano: *Arithmetica principia nova methodo exposita*, azaz *Az aritmetika új módon kifejlesztett alapelvei*). A valós számokra vonatkozóan Cauchy, Weierstrass és Dedekind (*Stätigkeit und irrationali Zahlen (Folytonosság és az irracionális számok*, 1872) munkái már megbízható alapot jelentettek, így Hilbert 1899-ben már a valós számok elméletére alapozva építhette fel a geometriát.

A klasszikus euklideszi mellett ismertek már a projektív és affin geometriák. Az 1860-as évek a nem-euklideszi geometriákat is ismertté tették a világban. Alig telt el pár év, és Felix Klein megmutatta, hogy minden geometriához a transzformációknak egy bizonyos folytonos csoportja tartozik. Erlangeni programjában (1872) javasolta a geometriák ezen csoportok szerinti osztályozását. A kilencvenes évekre az euklideszi geometriáról már nyilvánvalóvá vált, hogy a projektív geometriának csupán speciális esete.

David Hilbert – Peanótól függetlenül – Moritz Pasch könyvét olvasva jutott el az újraaxiomatizálás gondolatához. Pasch ugyanis az elemi geometriai bizonyításokat vizsgálva felfedezett olyan lépéseket, melyek pusztán logikaiak. Ilyen például az általa megfogalmazott, s a hilberti geometriába Pasch axiómaként beépített állítás. Pasch célja ezek megfogalmazása volt, hogy ezáltal a geometriai levezetések meg tudja tisztítani a szemléletre való hivatkozásoktól. Hilbert, átgondolva Pasch eredményeit úgy látta, hogy ez nem csupán a geometria kritikáját, hanem teljesen új módon való felfogását is lehetővé teszi. A levezetési szabályok hangsúlyozása lehetővé teszi, hogy az axiómákból úgy lehessen eljutni a tételekhez, hogy közben nincs szükség a geometriai szemléletre. Ez azt is jelenti egyben, hogy már nincs szükség a szavak jelentésére sem. Radikális megoldás a félreérthetőség és kétértelműség kiküszöbölésére. Ha nincsenek definíciók, az axiómák formálisak, és a (szintén formális) szabályok egyértelműen meghatározottak, nincs

lehetőség ellenpéldák felkutatására. A definíciók tehát az abszolút szigorúság oltárán lettek feláldozva.

A következő évtizedben Hilbert a nem-euklideszi geometriákat is beépítette a tárgyalásba. Veblen és Young (*Projective Geometry*, 1910–13) megmutatták, miként tárgyalható minden geometria ebben a szellemben. A századvégen sorra születtek meg a különböző elméletek axiomatizálásai: hálóelmélet – Dedekind (1897 és 1900), csoportelmélet és testelmélet – Huntington (1906). Testelmélet – Steinitz: (*Algebraischer Theorie der Körper*, 1910); ő már nem is foglalkozik a műveletek tartalmával, csupán sajátosságait rögzíti. Példaként a valós számok, a racionális számok és a komplex számok testét említi. Ideálmélet – Emmy Noether: (*Idealtheorie in Ringbereichen*, 1921) ... Ezekhez ismétcsak az algebra egy jelentős eredménye, a matematikai logika alapjául szolgáló Boole-algebra nyújtott segítséget. 1939-től kezdve jelentek meg *Elements de Mathématique* címen a Bourbaki csoport munkái. E sorozat az egész matematika absztrakt halmazstruktúrák és közöttük értelmezett leképezések segítségével való felépítését tűzte ki célul.

Az axiomatizálás önmagában még csupán a legtisztább deduktív rendszer felépítését jelentené. Nem akármilyen axiómarendszerekről van azonban itt szó. Vegyük pusztán a formai szempontokat! Eukleidész axiómarendszere a definíciókkal kezdődik. A mai axiómarendszerek azonban már nem definiálják például a pontot vagy az egyenest. E fogalmak továbbra is szerepelnek az axiómákban, ám csupán definiálatlan alapfogalmakként. Mit jelent ez? Azt, hogy amikor alkalmazni akarjuk valamely területre az elméletet, akkor csupán azt kell ellenőriznünk, hogy – a definiálatlan alapfogalmaknak immár jelentést adva – igazak-e a kérdéses területen (struktúrában) az axiómák. Ha igen, akkor (bizonyos alapvető feltételek teljesülése mellett) Gödel teljességi tétele értelmében az axiómarendszer összes levezetett tétele igaz lesz e struktúrában. Ez az adott axiómarendszer egy modellje lesz – és ez lehet akár matematikai, fizikai vagy bármilyen más modell.

Az alapok problémája kétféleképpen vethető fel. Az egyik a bizonyításra vonatkozik: mi az állítás alapja, miért igaz, hogyan érvelhetünk mellette, azaz milyen egyéb tételekből, definíciókból tudjuk levezetni? A másik viszont a matematikai igazság forrásaira vonatkozik: honnan tudom, hogy igaz-e a tétel vagy az axióma, hogy helyes-e a definíció? (E két kérdéskör nem feltétlenül független egymástól. Mai tudásunk szempontjából mindenesetre világos különbséget tehetünk a levezethetőség és az igazság kérdése között.) Ha az alapok az első értelemben kerülnek válságba, annak autentikus megoldása egy új axiómarendszer felépítése. Ha viszont a második értelemben, akkor a formalista visszahúzódhat az igazság kérdéskörétől mondván őrá csupán a levezethetőség kérdése tartozik, a többi az interpretáció dolga. Az axiómák igaz vagy hamis volta, a definíciók értelme (a szavak jelentése) már a modell és az értelmezés problémája. Tőle nem kapunk választ arra, hogyan dönthetem el egy modellen, hogy igazak-e az axiómák, ha maga a modell nem egy formális rendszer. Ezek már nem a tiszta matematika problémái.

Miért lett ez így? A fordulat okozója a térrel és a számokkal kapcsolatban már felvetett probléma. Ami azonban a XIX. században még filozófiai kérdésnek látszott, az a XX. század kezdetén egyértelműen matematikai problémaként mutatta meg magát. A matematikai fogalomalkotás és igazság problémáját a nem-euklideszi geometriák elfogadása nem oldotta meg, inkább félresöpörte. Újra felvetődött azonban az ún. halmazelméleti paradoxonokban.

Egy ifjúkorában hegelianus filozófus-logikus, Bertrand Russell felismert és megfogalmazott olyan ellentmondásokat, melyek – noha Cantor saját elméletében kivédeni látszott őket – bizonytalanná tették a halmaz fogalmát. E paradoxonoknak különböző megfogalmazásai élnek a matematikai folklórban. Az egyik ilyen például: borotválja-e magát az a borbély, aki pontosan

azokat borotválja a városban, akik maguk nem borotválkoznak. Az eredeti forma közelebb áll ehhez: „tartalmazza-e önmagát az összes halmazok halmaza?” Vagy igaz-e a következő állítás: „Hazudok”, melynek története a hazug krétai klasszikus antik paradoxonjáig nyúlik vissza? Ezek a kérdések irányították a matematikusok figyelmét annak vizsgálatára, hogy mit lehet és mit nem ellentmondás nélkül megtenni a matematikában.

A zavart – úgy tűnik – az okozta, hogy átgondolatlanul, mintegy naivan használtuk például a halmaz fogalmát és megengedtünk olyan formulákat, melyek magukról szólnak (mint például: „Ez a mondat hamis”). A matematika alapjainak vizsgálata a matematikai tudás forrásaira irányította a figyelmet. Van matematikai valóság, melynek intuitív megismerése segít a tételek felfedezésében, hogy azután kérlelhetetlen logikával bizonyítsuk azokat? Vagy tetszőleges struktúrákat alkothatunk, és a bizonyítás csupán az elme szabad játéka (a játékhoz tartozó szigorúan definiált szabályok mentén)? Hol húzzuk meg a határt a megengedhető és meg nem engedhető bizonyítási eljárások között? A kiválasztási axióma lett az egyik nevezetes pont, ahol e viták összecsaptak: Igaz-e az, hogy minden halmaz jólrendezhető – azaz megadható egy olyan rendezés, mely szerint minden részhalmazának lesz legkisebb eleme? Senki nem tudott adni ilyen rendezést például a valós számok halmazára, viszont ha posztuláljuk a kiválasztási axiómát, akkor ebből már bizonyíthatjuk a jólrendezhetőséget. A kérdés tehát: elég-e posztulálni a kiválasztási axiómát, avagy ténylegesen meg kelljen adni e rendezést vagy kiválasztási függvényt? Vagy ami ezzel ekvivalens: elfogadjuk-e a transzfinit indukciót bizonyítási módszernek?

Ma a matematikusok kis része fogadja csak el a konstruktív bizonyítási eljárások korlátait. Ami viszont ily módon is bizonyítható, azt az elméletek legbiztosabb részének tekintik. Az eredmények tekintetében tehát elérhető részleges egyetértés. Ami a matematikai igazság kérdését illeti, abban viszont ez nem következett be. Az egyetemeken oktatott matematika többnyire formális felépítésű, s ez az elméletek alkalmazásának is kedvez. Hogy a matematikusok esetleg mégis úgy érzik, hogy valami valóságos, nagyon is létező dologról tesznek kijelentéseket tételeikben, az jelenleg – a világnézeti kérdésekhez hasonlatosan – a személyes meggyőződések körébe tartozik.

D) A Bruno-féle világegyetem és a XIX. századi természettudomány

Székelly László

1. A Bruno-féle kozmológiai modell

A XVII–XIX. századi csillagászat fejlődését egyik oldalról a megfigyelési eszközök – elsősorban a távcsövek – dinamikus fejlődése, s a segítségükkel összegyűjtött empirikus ismeretanyag állandó gyarapodása, másik oldalról a newtoni gravitációelmélet nyomán fokozatosan kialakuló „égi mechanika” (Laplace kifejezése) jellemezte. Azt a fogalmi-teoretikus keretet, amely döntő módon befolyásolta ennek az empirikus adattömegnek a földolgozását és értelmezését, a bolygórendszer vonatkozásában a newtoni mechanika és az általános tömegvonzás newtoni elmélete, a kozmológia dimenziójában pedig Giordano Bruno végtelen terű, homogén világegyetem-modellje határozta meg, amelyet – mint a korábbi fejezetben láttuk – a görög atomisták hasonló szerkezetű világegyetemével szemben a csillagok természetére vonatkozó, és a „másik világ” fogalmát a napoknak tekintett csillagokkal azonosító (s ezáltal a kozmológiai értelemben vett másik világokat empirikus horizontunkon belülré helyező) nevezetes brunói hipotézis különböztetett meg.

Bruno állítása a világegyetem végtelenségéről és a világok végtelen sokaságáról szenvedélyes vitákat váltott ki,²⁶ de ezekből győztesen kikerülve a XIX. századi csillagászat számára mint evidencia jelenik meg. Győzelmében döntő fontossága volt a brunói világegyetem végtelenségének és homogenitásának, mely az ember kozmikus kitüntettségét a kopernikuszi rendszernél is következetesebben szünteti meg, s amely ezért összhangban volt az európai gondolkodás – és különösen a kibontakozóban lévő újkori természettudomány – akkori fejlődésének alaprendenciájával.

2. A Bruno-féle modell természettudományos formájának kialakulása: Descartes és Newton

A természettudomány – ezen belül elsősorban a mechanika és a megfigyelő csillagászat – fejlődése nem annyira a végtelen, homogén kozmológiai modell elfogadásában, hanem inkább a Brunónál még határozottan spekulatív és biomorf mozzanatainak kiküszöbölésében játszott szerepet. E transzformáció első lépése a modell biomorf mozzanatának eltüntetése volt, amely először két ágon – a pillanatnyi távolbahatást a modern természettudományos szemléletnek megfelelően tagadó karteziánus örvényelmélet és a távolbahatást bevezető newtoni gravitációelmélettel párosított newtoni mechanika vonalán – haladt előre, hogy azután Newton elmélete kerüljön ki győztesen közülük.²⁷ Az örvényelméletet magába foglaló karteziánus kozmológia és a gravitációt távolbahatásként értelmező newtoni elmélet ugyanis a közöttük fennálló meghatározó ellentét ellenére közös volt abban, hogy a világegyetemet Brunóhoz hasonlóan végtelennek és homogénnek, a csillagokat pedig napoknak tekintették, miközben a kialakulóban lévő újkori természettudományos gondolkodás szellemében az égitesteket Brunóntól eltérően csupán lelketlen, mechanikus anyagtömegeknek tartották. Bruno kozmológiája animisztikus-panteista vonása miatt egyszerűen a csillagászat számára avittá vált, miközben az általa bevezetett végtelen, homogén kozmosz ideája, vagy a csillagokkal kapcsolatos hipotézise – Bruno nevének említése nélkül – fokozatosan evidenciaként jelent meg.

E folyamat részként meg kell említenünk ugyanakkor azt is, hogy Descartes és Newton kozmológiája nem csupán örvényelméletének és a távolbahatás elméletének szembenállásában különbözött. Descartes szerint a természet rendszere az oksági törvények és az ezeket matematikai formában leíró szabályok alapján maradéktalanul megérthetőek: bár e törvények isteni eredetűek, a világegyetem – attól kezdődően, hogy isten anyagát megteremtette és e törvényeket hozzárendelte – már szigorúan öntörvényei szerint működik, s nincs sehol sem olyan rés, ahol a természeti törvények nyújtanának magyarázatot, hanem külső transzcendens tényező bevonására volna szükség. Ebben az értelemben Descartes kozmosza a természeti törvények rendszere szempontjából zárt és immanens.

Newton viszont e tekintetben a természettudományos-fizikai kozmológiával szemben szkeptikus: ő nem hitt abban, hogy a világegyetem működése pusztán az isteni előrelátást tükröző természettörvények alapján megérthető. Kozmológiájában szüksége van a folytonos isteni

²⁶ P. Rossi: Az ember nemessége és a világok sokasága, in: uő.: *A filozófusok és a gépek* (Kossuth, Budapest, 1975), 259–294. o.

²⁷ Vö.: Koyré: *From the Closed World to the Infinite Universe* (John Hopkins Press, Baltimore, 1957); Simonyi Károly: *A fizika kulturtörténete* (Gondolat, Budapest, 1978); Fehér Márta: „Utószó Fontenelle 'Beszélgetések a világok sokaságáról' című művéhez.” in: Fontenelle: *Beszélgetések a világok sokaságáról* (Magyar Helikon, Budapest, 1979), 244–260. o.

beavatkozásra. Ebben az értelemben Newton kozmológiája a racionális világmagyarázat szempontjából nyitott, réseket tartalmaz, ahol transzcendens beavatkozásra van szükség.

Bár Newton gravitációelmélete legyőzte Descartes örvényelméletét, paradox módon a modern természettudomány – többek között Newton gravitációelméletének köszönhetőleg – a descartes-i zárt kozmológiai séma jegyében és irányában fejlődött. Így csillagásztörténeti jelentőségén túl természetfilozófiai jelentősége is van azoknak a francia matematikus-fizikusok (így pl. D’Alambert és Laplace) számításainak, akik bebizonyították, hogy ott, ahol a bolygórendszer működésében Newton az isteni beavatkozáshoz fordult, valójában Newton gravitációelmélete is megoldást nyújt.²⁸ A newtoni alapokon nyugvó égi mechanika történeti jelentősége éppen az, hogy – többek között a kifinomult perturbációszámítással – bebizonyítja, hogy kidolgozható a Naprendszernek pusztán a newtoni törvényeken alapuló, de ugyanakkor a descartes-i értelemben vett zárt rendszere, s ezáltal a pusztán természetfilozófiai sémát nyújtó Descartes-tal szemben Newton törvényeire alapozva természettudományosan is kidolgozza a Naprendszer fölépítésének és „működésének” racionálisan zárt és immanens rendszerét.

Finomabb elemzéssel kimutatható az is, hogy Descartes örvényelmélete a csillagvilág, illetve a bolygórendszerek vonatkozásában nem a platóni–arisztotelészi–kopernikuszi–kepleri matematikai, hanem inkább az atomista és Cusanus-féle „pontatlan” kozmosz örököse. Newton távolbaható ereje viszont a csillagászati dimenzióban is a „matematikai” kozmosz ideáját képviseli. Ennyiben Newton győzelme Descartes felett egyben a matematikai kozmosz győzelmét is jelentette.

3. A Bruno-féle modell természettudományos formájának kialakulása: a XVII–XIX. századi empirikus csillagászat

A mechanikus kozmosz ideájának kialakulásával párhuzamosan ugyancsak meghatározó szerepet játszott a Bruno-féle modell természettudományos formájának kialakításában a megfigyelő csillagászat.

Bár Bruno kozmológiája spekulatív-természetfilozófiai kozmológia volt, empirikus konzekvenciái implicit módon csillagászati kutatási programot definiáltak. Persze a csillagászok nem Bruno implicit programját követték: amiképpen utaltunk rá, Brunónak mint a csillagászat szempontjából is lényegeset mondó kozmológusnak nevét gyakorlatilag elfelejtették. Ám Bruno állításai a csillagok napszerű voltáról, térbeli mélységben történő elhelyezkedéséről és a világok sokaságáról a csillagászok számára fokozatosan evidenciaként jelentek meg. Bruno kozmosza ezért egyre inkább a csillagászati megfigyelések fogalmi keretévé vált, s már olyan empirikus megfigyelési eszköz vonatkozásában is integrálódott a kor csillagászatába, mint a távcső: míg a Kopernikusz által még megőrzött csillagszféra-hipotézis alapján a távcső valójában csupán mikroszkópként működött – azaz egy állandó távolságban lévő felület mind apróbb és apróbb részleteit nagyította föl és tette az ember számára láthatóvá – addig Bruno nyomán a tér mélységeibe való behatolás eszközeként jelent meg, melynek segítségével, hatékonyságának növekedésével az ember egyre messzebbre és messzebbre lát el a kozmikus térben. (Kepler pl. még úgy gondolta, hogy a Galilei távcsövében föltáruló csillagsokaságot nem azért nem látjuk

²⁸ Vö. pl.: R. Taton and C. Wilson (eds): *Planetary Astronomy from the Renaissance to the Rise of Astrophysics* (Cambridge University Press, Cambridge, 1995), Part B: The eighteenth and nineteenth centuries, különösen: 87–150. és 209–248. o.

szabad szemmel, mert messzebb vannak a látható csillagoknál, hanem mert túlságosan kicsinyek.²⁹⁾

Az empirikus csillagászat fejlődésének egyik vonulata a mind hatékonyabb távcsövekkel és megfigyelési eszközökkel ezen evidenciák fokozatos alátámasztásával szolgált. Az első jelentős eredmény e tekintetben még a XVIII. század elején született meg, amikor is Edmund Halley a régi görög csillagkatalógusok és a modern csillagpozíciók összevetésével fölfedezte a csillagok saját mozgását, s ezáltal empirikus oldalról is megrendítette a mozdulatlanságokra vonatkozó dogmát.³⁰

A megfigyelő csillagászat igazi nagy korszaka azonban csak a XVIII. század végén, William Herschel munkásságával kezdődött. Herschel az első, aki a bolygóktól kifejezetten és határozottan a csillagok felé fordul, s megkezdte a csillagok régiójának szisztematikus földerítését. Ha a csillagvilág közelítőleg homogén eloszlása korábban csupán spekulatív tétel volt, Herschel kozmikus környezetünk csillagainak eloszlását az empirikus kutatás tárgyává tette, amikor megkezdve szisztematikus vizsgálódásait az „egek szerkezeté”-nek (the construction of heavens) földerítésére.³¹ Herschel csillagászati munkássága szorosan összefüggött távcsőépítő tevékenységével, amely a távcsövek hatékonysága szempontjából jelentős előrelépést hozott Halley korának csillagászati műszereihez képest.³² Ha Halley még megelégedett azzal, hogy az új távcsövekbe tekintve egyre haloványabb és haloványabb csillagok tárulnak minden irányból a szemre elé³³, Herschel már nem állt meg ennél a kvalitatív benyomásnál, s fáradságos munkával hozzákezdett a különböző irányokban egységnyi területen látható csillagok összeszámlálásához. Tekintettel arra, hogy még nem állt rendelkezésére megfelelő eljárás a csillagok távolságának meghatározására, ahhoz, hogy a síkbeli eloszlásból térbeli eloszlást konstruálhasson, Herschelnek szüksége volt egy igen erős előfeltevésre, amely a csillagok valódi fényességére vonatkozott. Ez az előfeltevés a csillagok fényerejének kvantitatív homogenitását állította; konkrétan azt, hogy azok valódi – azaz: „abszolút” – fényességük tekintetében megközelítőleg azonosak. Azt, hogy ez a hipotézis helytelen, már Herschel kortársai is tudták, s magát Herschelt is figyelmeztették erre, ő azonban ennek ellenére kitartott ezen föltevése mellett – minden bizonnyal azért, mert azt olyan munkahipotézisnek tekintette, melynek hiányában a csillagok térbeli eloszlására irányuló vizsgálódásairól is le kellett volna mondania.³⁴ Ebből a szempontból kortársaival szemben mégiscsak neki volt igaza, mert ez a téves előfeltevés csak a Naprendszer szűkebb környezetében vezet szükségképpen torz eredményre, míg nagyobb dimenziók esetében a csillagok fényességkülönbségei véletlenszerű eloszlásuk miatt bizonyos mértékig kiegyenlítődnek. A Tejútrendszer dimenziójában ezért Herschel vizsgálódásainak legfontosabb eredményei már alapvetően helyesnek bizonyultak: ezek szerint a távcsövek segítségével látható csillagok

²⁹ Koyré, id. mű: 75–76. o.

³⁰ Clerke, A. M.: *Geschichte der Astronomie* (Springer, Berlin, 1889), 12. o.; North, J.: *The Fontana History of Astronomy and Cosmology* (Fontana Press, London, 1994), 394–398. o.

³¹ Vö.: Hoskin, M. A.: *William Herschel and the Construction of Heavens* (Oldbuorne, London 1963); Hermann, D. B.: *Die Geschichte der Astronomie von Herschel bis Hertzprung*, 22–26. o.

³² Vö.: J. A. Bennett: On the Power Penetrating into Space: the Telescope of William Herschel. *The Journal for the History of Astronomy Vol 7. Part 2.*, 75–108. o., Kong, H. C.: *The History of the Telescope* (New York, Dover, 1979), 48–66. o., valamint Hermann: id. mű: 22–26. o.

³³ Halley, Edmond: Of the Infinity of the Sphere of the Fix'd Stars. *Philosophical Transactions*, 31 (1726), 22–23. o. A tanulmány kópiája megtalálható Stanislaw Jaki már idézett könyvének végén (251–253. o.).

³⁴ Vö.: Hermann, D. B.: id. mű: 27. o.

eloszlása nem egyenletes, hanem azok a térnek a Tejút gyűrűje által kitüntetett síkjában tömörülnek.³⁵

Herschel kutatásainak eredményeképpen a homogenitás-probléma empirikus dimenziója átalakult: a kérdés többé már nem az volt, hogy miképpen oszlanak el a csillagok környezetünkben, hanem az, hogy az a csillagrendszer, amelyben élünk, s amely a Herschel által fölvázolt, s a későbbi kutatások által megerősített és finomított csillageloszlást mutatja, az egyetlen-e a világegyetemben, vagy pedig végtelen sok ilyen csillagrendszer egyike-e csupán? Az első esetet elfogadva a Föld, a földi élet és a Naprendszer kitüntetettsége az a „lerombolódása”, amelyet a Bruno-féle modell hozott magával homogenitásával, s az a tendencia, amely ezzel szorosán összekapcsolódva a világegyetem kitüntetett, egyedi pontjainak megszűnését eredményezte, megfordul, hiszen ekkor – legalábbis az akkori csillagászat fogalmi keretében mozogva, amely még nem ismerte a nem-euklideszi geometriák kozmológiai alkalmazásának lehetőségeit – vagy véges csillagvilágot kapunk, vagy egy olyan világegyetemet, amely a térnek a Tejút gyűrűje által definiált síkját kitünteteti. Ám egy ilyen elképzelés elfogadása nem volt szükségszerű: a homogenitás megőrzésére is adva volt a fogalmi keret: ha a német csillagász, Olbers által fölvetett lehetőségnek megfelelően a világszigeteket tekintjük a teret kitöltő kozmikus anyag legnagyobb egységeinek – mint ahogyan ez például Wrightnál, Kantnál és Lambertnél³⁶ szerepel – a világegyetem térbeli dimenzióit Herschel eredményeivel összhangban is homogénként kaphatjuk meg.

A világegyetem térbeli homogenitásának empirikus dimenziója Herschel munkássága nyomán tehát a következő két kérdéssel fonódott össze:

a) vajon tényleg világszigetek-e a Kant és Lambert által ilyennek föltételezett objektumok, vagy pedig ellenkezőleg: ezek is a mi csillagrendszerünkhöz tartoznak;

b) amennyiben világszigetek – azaz Kantnak és Lambertnek e tekintetben igaza van – eloszlásuk vajon a Kant és Lambert által föltételezett hierarchikus eloszlással szemben homogén-e?

Herschel munkásságának ugyancsak jelentős részét képezte a csillagvilág nem csillagszerű objektumainak (ködök, csillagcsoportok) szisztematikus vizsgálata.

Amíg a Messier katalógus 103 különleges égi objektumot tartalmazott³⁷, addig Herschel 1802-ben már 2508 ilyen ismert.³⁸ Herschel több ízben is megpróbálta osztályozni ezeket, s ennek során egyre inkább arra törekedett, hogy a különböző típusokat – a különböző formájú sötét és világító ködfoltokat és csillaghalmazokat, csillag-csoportulásokat – a csillagászati objektumok fejlődésének különböző fázisaiként azonosíthassuk. Ezáltal a karteziánusoknál és különösképpen

³⁵ Vö.: Herschel: Account of some Observations tending to investigate the Construction of the Heavens (1784), in: Hoskin: id. mű: 71–106. o.

³⁶ Vö.: Wright, Thomas: *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe* (London, 1750). A mű rövidített változatának német nyelvű fordítása megtalálható a következő gyűjteményes kötetben: Jackisch, G. (ed.): *Lamberts Cosmologische Briefe* (Akademie Verlag, Berlin, 1979), 203–227. o. Kant: *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie Des Himmels*. in: *Kants Werke, Band I.* (Walter de Gruyter, Berlin, 1968), 241–258., 306–330. o.

³⁷ Mallas, J. H., Kreimer, E.: *A Messier-Album* (Gondolat, Budapest, 1985).

³⁸ Vö.: Serio, Indorato and Nastasi: Nebulae in the 17th Century. *The Journal for the History of Astronomy* Vol. 16, Part 1 (1985), 1–36. o; Hermann, D. B.: *Geschichte der Astronomie von Herschel bis Hertzprung*. (Akademie-Verlag, Berlin, 1975), 31. o.

Kantnál megfogalmazódó fejlődésgondolat Herschelnél közvetlenül összekapcsolódott az égbolt empirikus képével, melynek következtében az égbolton megfigyelhető, konkrét kozmikus objektumok térbeli egymásmellettségéhez hozzárendelődött az idődimenzióbeli egymásutániség fogalma.³⁹ Az, hogy közvetlenül milyen hatások ösztönözték Herschelt erre a szemléletmódra, határozottan nem állapítható meg, de mindenképpen indokolt a háttérben a világok körforgásszerű keletkezésére és elmúlására vonatkozó tradicionális elképzelést sejteni. Annál is inkább, mert Herschel válogatott tanulmányainak 1791-ben megjelenő német nyelvű kiadásához a kiadó függelékként egy rövid kivonatot kapcsolt Kant kozmológiájából.⁴⁰ (Igaz, ez a kivonat éppen a kozmogóniai részekkel bánik mostohán!)

1796-ban jelent meg Laplace Kanttól függetlenül, de Herschel által befolyásoltan kidolgozott ködhipotézise, amely a naprendszerünkhöz hasonló kozmikus rendszerek kifejlődésére kísérel meg elméleti magyarázatot nyújtani a newtoni fizika alapján.⁴¹ Ez az elmélet így szintén támpontot és ösztönzést adhatott ahhoz, hogy a csillagászati-kozmológiai objektumok térbeli sokféleségében a kozmikus testek fejlődési folyamatának különböző fázisait lássuk. Laplace elmélete különösen alkalmasnak bizonyult a Herschel által fölfedezett planetáris ködök értelmezésére: e ködök képe ugyanis megfelel az általa föltételezett gáz-gyűrűs állapotnak, s így kézenfekvő volt ezeket a kialakulás stádiumában lévő naprendszerekkel azonosítani. Akik ezen elmélet fogalmi keretében gondolkodva végezték empirikus csillagászati vizsgálódásaikat, abban a csodában részesülhettek, hogy saját, szűkebb kozmikus környezetüknek, a Naprendszernek múltjában is gyönyörködhetek a csillagok világának kutatása közben. (Ma már tudjuk, hogy a planetáris ködök nem keletkező bolygórendszerek, ám érthető, hogy akkor ez az első pillanatban kézenfekvőnek tűnő értelmezés sokak számára vonzó volt.)

Herschel kapcsán megemlítenéd még, hogy szintén ő az első olyan bolygó – az Uránusz fölfedezője –, mely a klasszikus kor számára ismeretlen volt.

Mind a kopernikuszi, mind a brunói, mind a descartes-i és a newtoni kozmoszkép akut problémája volt a csillagok parallaxisának hiánya. A XIX. század második harmadának elejére megszülettek e tekintetben is a régóta vár eredmények (Bessel, Sztruve és Henderson, 1838–

³⁹ Hoskin, M. A.: *William Herschell and the Construction of the Heavens* (Oldbourne, London, 1963), 65–70. o.; Hermann. D. B.: id mű: 31. o.

⁴⁰ Vö.: Jackisch: id. mű: 235–245. o.

⁴¹ Laplace hipotézise a világ rendszeréről írt művének első két kiadásában még csak rövid utalás formájában szerepel. A harmadik kiadásban már egy ezzel kapcsolatos hosszabb fejtegetéssel is találkozhatunk, ám részletesebb kifejtése csupán a negyedik kiadásban jelenik meg először, ahol azt Laplace a főszövegtől elkülönítve, a műhöz csatolt VII. megjegyzésként közli. E formában jelenik meg azután a hipotézis a Laplace életében megjelent utolsó, ötödik kiadásban is. Vö.: Laplace, P., *Exposition du Systeme du Monde*. (Cinquieme Édition, Paris, Bachelier, 1824), 395. o., valamint Note VII. et dernière: 409–418. o.; illetve uő., *Oeuveres completes de Laplace. Tome Sixieme: Exposition du Systeme du Monde*. (Gauthier–Villars, Paris, 1884), 482., 498–509. o. Hipotézisének megfogalmazásában Laplace-ra Herschel mellett jelentős hatást gyakorolt még Buffon kozmogóniája. Hipotézisének teoretikus előzményeiről, s ennek részeként Buffon hatásáról, valamint Laplace és Herschel kapcsolatáról vö. pl.: Numbers, R. L., *Creation by Natural Law: Laplace's Nebular Hypothesis in American Thought* (University of Washington Press, Seattle, 1977), 3–13. o. Laplace tevékenységének filozófiai és kozmológiatörténeti jelentőségéről ugyancsak lásd: Hahn, R., Laplace and the Mechanistic Universe. in: Lindberg, C. L., Numbers, R. L., *God and Nature* (University of California Press, Berkeley, 1986), 256–276. o. Magyar nyelven vö. még: Whitney, Ch. A: *Tejútrendszer fölfedezése* (Gondolat, Budapest, 1979), 125–129. o.

1839)⁴². Ezzel végre sikerrel járt az a Kopernikusz nyomán kibontakozó közel három évszázados törekvés, amely arra irányult, hogy a Föld föltételezett Nap körüli keringésének a csillagok látszólagos pozíciójának változásában megmutatkozó tükröződését ezek távolságának a meghatározására használják föl. S csak most – azáltal, hogy a különböző csillagok esetében különböző parallaxisokat mértek – történt meg Bruno azon állításának empirikus konfirmációja, amely szerint a csillagok elhelyezkedése nem szféraszerű, mint Arisztotelész állította, hanem térbeli mélységgel rendelkezik. Ám attól, hogy az első sikeres parallaxismérések ilyen sokáig várattak magukra, csak megnőtt jelentőségük, hiszen egy olyan szilárd meggyőződés empirikus alátámasztását jelentették, amelyet a megelőző sok eredménytelen próbálkozás ellenére sem adtak föl. Ez pedig megerősítette azt a hitet, hogy az empirikus csillagászati kutatásoknak azok az előföltételei, amelyek az elmúlt két évszázad folyamán alakultak ki, helyesek.

A XIX. század hatvanas éveitől elkezdődött a színképelemzés módszerének sikeres alkalmazása a Nap után a csillagok és a ködök világára. E téren Donati, Huggins, Secchi, Rutherford, majd később Vogel érte el az első jelentős eredményeket.⁴³ A színképelemzés segítségével bebizonyosodott, hogy a csillagok kémiai összetétele hasonló a Napéhoz, s a ködök sem tartalmaznak a naprendszerünkben ismertekhez képest idegen elemeket. Így a csillagok természetéről kialakított korábbi meggyőződést sem kellett módosítani, s a világegyetem materiális egységének eszméje az empiria oldaláról is megerősítést nyert. De a csillagok természetével kapcsolatos ezen – immár nem csupán spekulatív – eredmény azt is jelentette, hogy a Nap-kutatás kozmológiai jelentőséget kapott, hiszen a Nap a végtelen sok csillag leginkább vizsgálható paradigmájaként jelenhetett meg. Ez az az időszak, amikor kialakul a Napnak – s ezáltal a csillagoknak – az a termodinamikai-kémiai modellje, mely majd megalapozza a XX. századi magfizikai napmodellt, s a XX. századi asztrofizikát

Az előbbieken ismertetett fejlődés eredményeképpen a Bruno-féle modellben megfogalmazott kozmológiai állítások jelentős része empirikus alátámasztást kapott. A világegyetem végtelensége és homogenitása, a világok végtelen sokasága immár leválva a filozófiai és természetfilozófiai spekulációról, természettudományos formában, a megfigyelő csillagászat által szállított gazdag adatbázisra alapozottan fogalmazódhatott meg. *Ezt a változást szimbolikus módon úgy jellemezhetjük, hogy a Bruno-féle modell természettudományos köntöst öltött magára, amely elfedte eredetét: azt, hogy egy spekulatív filozófiai elmélet részelméletként született meg.* A csillagászaton belül egyfajta diadalérv uralkodott, amely szorosán összefonódott a XIX. századi természettudomány egyéb területein elért sikerekkel, s a természettudományos megismerés töretlen haladásába vetett általános hittel – amely utóbbit a társadalom oldaláról a század utolsó harmadában alátámasztott a szabadversenyes kapitalizmus dinamikus fejlődése.

4. Az anyag végtelen, örök körforgása és a végtelen világegyetem

A XIX. század elejére nyilvánvalóvá vált, hogy a csillagok energiája egyszer kimerül, s azok nem sugároznak a végtelenségig. Természetszerűleg vetődött fel a kérdés: mi történik a kihűlt

⁴² Vö. pl.: Plavec, Miroslav: *Csillagok világa* (Gondolat, Budapest, 1965), 231–243. o.; Newcomb–Engelmann: *Populaere Astronomie* 5. (Auflage von Paul Kempf, Leipzig, 1911), 193–205. o.; North, J. id. mű: 414–420. o.

⁴³ Vö.: Hermann, D. G.: *Az égbolt fölfedezői* (Gondolat, Budapest, 1981), 130–137. o.; Newcomb–Engelmann: id. mű: 512–526. o.; Hearnshaw, J. B.: *The Analysis of Stralight. One Hundred Fifty Years in Astronomical Spectroscopy* (Cambridge University Press, Cambridge, 1986), 51–103. o.

csillagokkal? Végül minden csillag kialszik majd, s elsötétül a világegyetem? Az e kérdésre adott „igen” válaszból az következett volna, hogy a csillagok által jellemzett korszak csupán rendkívüli, véges idejű korszaka a világegyetemen, míg az elsötétülő világegyetem képe a bibliai világvége fogalmát idézte. A fölvilágosodás gondolkodásától azonban teljesen idegen volt ez a gondolat, s így a természetfilozófiában teret nyert az az elképzelés, hogy a kihűlt csillagok anyaga az új, születő csillagokban újból életre kel, s ismét sugárzóvá válik. (Fontenelle⁴⁴, Kant stb.)

A XIX. században ez az eszme természettudományos formát kapott részben Herschel időrendbe állított kozmikus objektumai, részben Laplace ködhipotézise és a gyűrűsködök ennek alapján adódó első értelmezése nyomán. A világegyetemen belüli körforgásszerű fejlődésről így kialakult hipotetikus kép a következő fázisokból állt:

1. A forró gázfelhő. A gázfelhőből fokozatosan kialakulnak azok az izzó és forgó gázgömbök, amelyek a laplace-i elméletben leírt folyamat kiindulási pontját képezik.
2. A laplace-i ködökből leválnak a gyűrűk; a gáztömeg középponti része fokozatosan csillaggá alakul. Ez a fázis felel meg az empirikusan megfigyelhető gyűrűsködöknek.
3. A ködgyűrűk bolygókká alakulnak, s fokozatosan kihűlve keringenek a középponti csillag körül. Ott, ahol erre kedvezőek a feltételek, megindul az élet evolúciója, amely statisztikus valószínűséggel elvezet az intelligens életig, s ennek történelméig.
4. A rendszer központi csillaga kihűl, a bolygók hideggé válnak, s egy idő után belezuhannak a már kihűlt központi testbe.
5. A kihűlt naprendszerek holt anyaga és a csillagok által korábban kisugárzott energia újból találkozik egymással, s így a kihűlt anyag aktivizálódhat, megteremtve ily módon újabb világok kialakulásának laplace-i előfeltételeit.

Az elképzelés szerint a kozmoszban statisztikailag szórta, egyenlő arányban találhatóak a különböző fázisban lévő naprendszerek, s így bár a csillagvilágot lokális fejlődés – az atomisták világaihoz hasonló keletkezés, virágzás és elmúlás – jellemzi, a kozmosznak mint egésznek az állapota nem változik: az nemcsak térben, hanem időben is homogén.

A XIX. századot uraló – s immár nem természetfilozófiai, hanem természettudományos formában is megfogalmazódó – kozmológiai sémát ennek nyomán úgy jellemezhetjük, mint a térben és időben végtelen, homogén Bruno-féle modellnek Descartes és Newton nyomán mechanizálódott változatát, mely kiegészült a csillagok folyamatos körforgásszerű keletkezésének, virágzásának és elmúlásának, s a kihűlt anyag újraéledésének hipotézisével.

5. A XIX. századot uraló csillagászati–kozmológiai séma problémái:

A XIX. századot jellemző természettudományos diadaléret részeként a csillagászatot is jellemző optimizmus ellenére már kirajzolódtak e fenti kozmológiai séma problematikus mozzanatai is.

1. Az előbb ismertetett körforgásmélet utolsó fázisát teoretikusan nem sikerült kidolgozni, s empirikusan sem sikerült meglelni.

Empirikus oldalról a XX. század elejére kiderült, hogy a planetáris ködök nem keletkező naprendszerek, hanem egészen más természetű jelenségek, míg teoretikus oldalról

⁴⁴ Vö.: Fontenelle: *Beszélgések a világok sokaságáról* (Magyar Helikon, Budapest, 1979), 129–135. o.; Kant: id. mű.

megfogalmazódott a termodinamika II. fő tétele, mely szerint a világegyetem a sötét, hideg állapot – a „hőhalál” – irányába halad (Clausius, Boltzman).

2. A világegyetem végtelenségével kapcsolatos megfogalmazódott a Neumann⁴⁵–Seeliger⁴⁶-féle gravitációs paradoxon, mely szerint végtelen, homogén világegyetemben a newtoni gravitációs potenciál a világegyetem mindegyik pontján végtelenné és ennek következtében maga a gravitációs erő meghatározatlanná válik.
3. A megfigyelések révén készített csillageloszlási statisztikákból kiderült, hogy a környezetünkben lévő csillagok eloszlása – Herschel ezzel kapcsolatos első eredményeivel összhangban – nem homogén. Igaz, a csillagvilág galaxisok („világszigetek”) sokságába történő tömörülésének hipotézisével (Wright, Lambert, Kant) és a galaxisok homogén eloszlásának föltételezésével a homogenitás megmenthető volt. Ám ezt a hipotézist sokan vitatták, s a csillagászok között a századfordulóra a Kapteyn-féle elmélet uralkodott, mely szerint a Tejútrendszer az egyetlen csillagsziget s így a világegyetem anyagának térbeli eloszlása nem homogén, hanem egy véges térrégióba tömörül.

Bár századunk 20-as éveire mégiscsak a világsziget elmélete győzedelmeskedett, ekkorra már a relativisztikus kozmológia és a táguló világegyeteme került az előtérbe, azaz a XIX. század jellegzetes kozmológiai sémáját egy új séma váltotta fel.

Az időben és térben homogén és végtelen, körforgásos modell teoretikus betetőzését egy chicagói csillagász, McMillan kozmológiájában érte el. McMillan bevezet egy hipotetikus kozmikus folyamatot, mely a termodinamika II. fő tételével ellentétes irányban hatva újrakoncentrálja a csillagok által korábban kisugárzott energiát, s amely mint ilyen a körforgáselmélet 5. fázisának felel meg. McMillan ennek segítségével bebizonyítja, hogy a világegyetemnek olyan koherens elmélete alakítható ki, melyben kozmikus méretekben nem érvényes a II. fő tétel, s így nem lép föl a hőhalál. Modellje azonban már csak érdekes hipotézis maradhatott, mely mintegy lezárja a végtelen, homogén modell történetét, hiszen a szóban forgó energia-újrakoncentrálódási folyamatot a természettudománynak nem sikerült fölfedeznie. Elméletének mégis van egy jelentős érdeme: megmutatja azt, hogy a fenti föltételek esetén a hőhalál kiküszöbölésével együtt a Cheseaux–Olbers-paradoxon (az éjszakai fényes égbolt paradoxona) sem lép föl; – azaz azt, hogy a hőhalál-elmélet és az Cheseaux–Olbers-paradoxon nem független egymástól, s ezért a paradoxonokhoz vezető két effektus elvben semlegesítheti egymást.

McMillan ily módon egységbe ötvözte a kozmológiai és a kozmogóniai mozzanatot, s ezzel a térben és időben homogén, végtelen, statikus („állandó állapotú”) modell logikai szempontból legkonzekvensebb változatát nyújtotta, melyben

„... az univerzum mint egész lényegében nem változik. A szinguláris pontok változtathatják pozíciójukat és fényességüket, de egyáltalában nem szükséges

⁴⁵ Neumann, C.: *Allgemeine Untersuchungen über das Newton'sche Prinzip der Fernwirkung* (Teubner, Leipzig, 1896).

⁴⁶ Seeliger, H.: Über das Newton'sche Gravitationsgesetz. *Astronomische Nachrichten* 137 (1984), 129–136. o.; Seeliger: Über das Newton'sche Gravitationsgesetz. *Sitzungsberichte der mat.-phys. Classe der Akademie der Wissenschaften zu München* 26, 373–400. o.

föltennünk azt, hogy valaha is lényegesen különbözött vagy különbözni fog attól, amilyen ma.”⁴⁷

A csillagvilággal kapcsolatos XX. elképzelésekre azonban McMillan már mint egy merész, de érdekes hipotézis megfogalmazója sem hathatott. Kozmológiai modelljét 1918-ban megjelent tanulmánya tartalmazza: egy gyökeresen új kozmológiai vízió formálódásának, a kozmológiai vöröseltolódás fölfedezésének és a relativisztikus kozmológia megszületésének időszaka ez.

E) A korai (XVIII–XIX. századi) evolúciós elméletek

Kiss János

Az emberiség *hamarabb vette birtokába a teret, mint az időt*. A csillagászat mindkettőt segítette, de az időről legfőljebb csak mint ciklusos ismétlődésről gondolkodtak. A ptolemaioszi világkép meghaladása után (Kopernikusz, 1543) is a statikus vagy legfőljebb ciklusos világnézet volt az elterjedt; eszerint a világot Isten teremtette, és ma is olyan, ahogyan a teremtéssel létrejött. A Bibliában leírtakat komolyan, majdnem szó szerint értelmezték. Pl. az 1620-as években Ussher anglikán érsek a bibliai adatok alapján 5600 évesnek tartotta a Földet. A XVII. században késhegyre menő vitákat folytattak arról, hogy melyik évszakban volt a vízözön. Látható tehát, hogy abban az időben *az időfogalom nagyon torzult* volt.

Az 1680-as években Newton a tömegvonzással magyarázza a bolygók mozgásait. Fizikájával kiteljesedett az új mechanikai világkép, és rájönnek, hogy *a világegyetemet fizikai törvények uralják*.

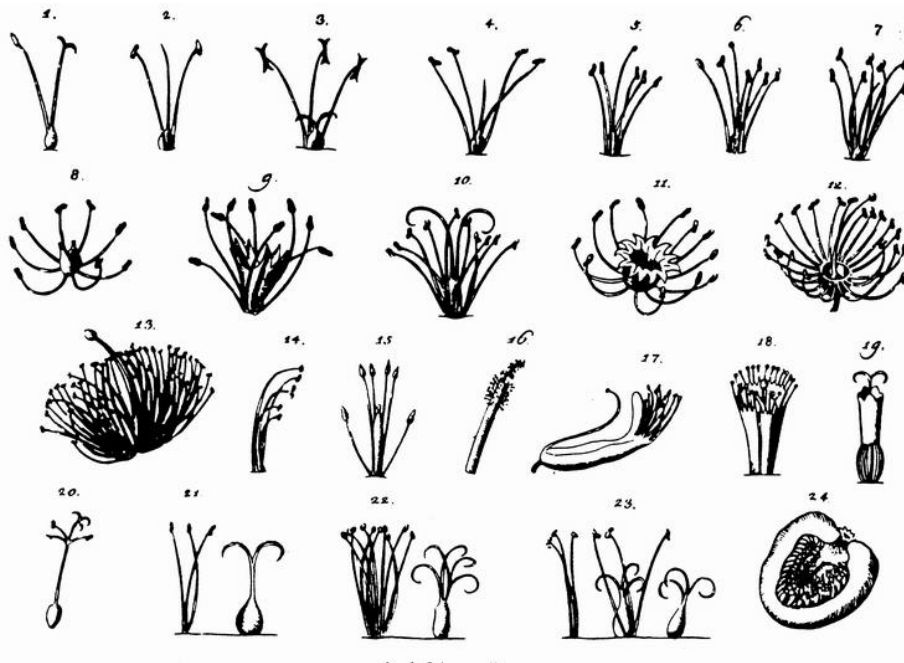
Általánosabb maradt az a nézet, hogy *a világot Isten teremtette 6 napon át*. Később 40 napos katasztrófa söpört végig a Földön; a *megkövesedett maradványok* (fosszília) ennek a *vízözönnek* a tanúi. Noé aztán újra benépesítette a Földet *az eredeti fajokkal*.

A XVIII. században Európa különböző országaiban a tudomány új fellendülése kezdődött, ami szoros kapcsolatban volt az ipari kapitalizmus fejlődésével és a franciaországi társadalmi változásokkal. A felfedező-, kutató- és gyűjtőutak, a gyűjtők, a tudósok és a kereskedők közreműködésével az ismert növény- és állatfajok száma ugrásszerűen megnőtt, a botanikus kertek, a herbáriumok, a menaszériák, a természetrajzi gyűjtemények állománya is jelentősen gyarapodott. Így a tudományos vizsgálódásnak is új irányai alakultak ki, aminek majdnem közvetlen következményeképpen egyre jobban kifejlődött az élő szervezetek leíró-rendszerező *osztályozása*.

A XVIII. század egyik fő teljesítménye volt a *rendszertani elvek* fejlődése. A newtoni matematikai fizikai elvek alapján rögzített világregd elképzelése uralta a világnézetet a biológiában is. Az idegen országok élővilágának feltárulása világossá tette, hogy minden egyes országnak meg vannak a maga bennszülött növényei és állatai. Azonban a XVII. század előtt javasolt osztályozási rendszerek zavarosak voltak és nem elégítették ki a tényleges biológiai igényeket. A XVII. század végének és a XVIII. század elejének nagy rendszerezője volt az angol természetbúvár, John Ray, aki az élőlények osztályozásában egységes elveket keresett. A klasszifikációban nagyon pontos nem(zetség)- és fajleírásokat használt; a leírások a *struktúrára* alapozódtak (pl. az ujjak és a fogak elrendeződésére) és a nem a színre meg az élőhelyre (ezzel új

⁴⁷ MacMillan, W. D.: On Stellar Evolution. *The Astrophysical Journal* 48 (1918), 35–49. o. (az idézett sorok: 49. o.),

és nagyon fontos koncepciót vezetett be a rendszertanba: a megbízhatóbb, a kevésbé változókonny jegyek figyelembevételét).



Linné növénytani rendszerének 24 osztálya, a porzók száma és jellege alapján

Eddig a legtöbb taxonómus a rendszerét úgy állította fel, hogy az összes ismert szervezetet egyre kisebb csoportokba osztotta be fölülről (az embertől és az állatoktól) kezdve, aztán a csoportokat osztotta tovább egyre kisebb csoportokba. Tőlük eltérően a svéd botanikus és taxonómus, Carl Linné (1707–1778) a *fajjal* kezdte, és ezeket szervezte nagyobb csoportokba vagy nemzetségekbe, aztán az analóg nemzetségeket családokba egyesítette, a rokon családokat rendekbe, az utóbbiakat meg osztályokba sorolta *Systema Naturae* (*A természet rendszere*) című művében (1735). E művében fektette le az új rendszertani munka gyakorlati elveit, mégpedig az öt megelőző évszázad növény- és állattani eredményei (Camerarius, Ray) alapján. Ebben leírta az addig ismert ásványokat, növényeket és állatokat, számos új fajt is ismertetve. A rendszertana a régi hagyományú „lények létrája” elképzelés jegyében született. A magasabb szervezetségű növények csoportosításához – talán Grew és Camerarius korábbi munkáit felhasználva – a *Species plantarum* (*A növények fajai*) című mesterművében (1753) a virágok reproductív szerveinek struktúráját választotta alapkritériumul. A fontos munka kb. 6000 növényfaj gondos leírását tartalmazza az akkor ismert világ minden részéről. Ebben tette általánossá a korábban csak szórványos *kettős nevezéktan* a botanikai taxonómiában, majd 1758-tól a zoológiai rendszerezésben is. A *kettős nevezéktan* az arisztotelészi formális logika és ama feltevés alapján fejlődött ki, hogy *a dolgok a lényeknek* (esszencializmus), illetve *az alaptervnek* (tipologizmus) *megnyilvánulásai*. A természet tehát hierarchikusan elrendezett és a teremtés által meghatározott (fixizmus). Az állatok csoportosításában – Ray munkáját követve – a fogak és az ujjak szerkezetére alapította a rendszerét az emlősök esetén, a csőr alakjára a madarak esetében. Kimutatta, hogy a kettős névvel ellátott állatok és növények nomenklatúrája alapos és átfogó leírásokkal felhasználható az élő szervezetek csoportosítására. (Ezzel megalapozta a *taxonómiát* mint új tudományágat.)

1737-ben Linné azt tartotta, hogy a fajok száma állandó.

A XVIII. század elején még statikus világgépet azonban többen is megpróbálták megmozdítani, már az előző században is, főleg azok a természetbúvárok, akik az *egyedfejlődést* tanulmányozták, illetve akik *összehasonlító anatómiai vizsgálatokat* végeztek. A természetet egységes egészként valló felfogás kimunkálásáért folytatott erőfeszítés során lassan-lassan kezdett teret hódítani az *átalakulás* gondolata is; a bibliai teremtéstörténet és a fajok állandóságának dogmája inogni kezdett.

1745-ben Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698–1759) francia természettudós kidolgozta az *élővilág evolúciójának* egy korai koncepcióját. Elméleti alapon mintha előre megjósolta volna a *változatok* és a *szelekció* fontosságát.

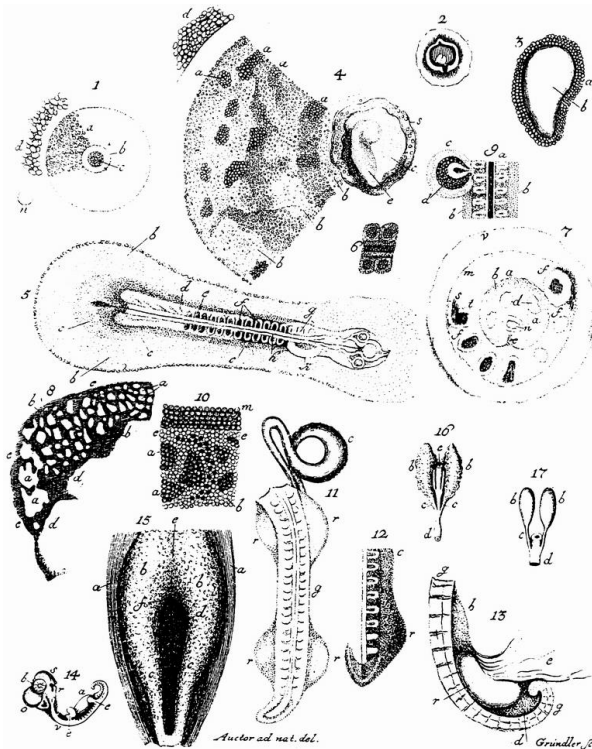
1760-ban Linné már lehetségesnek tartotta, hogy *hibrid nemzetségekből új fajok keletkezhetnek*.

Az 1760-as években Charles Bonnet (1720–1793) svájci természettudós a leghatározottabban fogalmazta meg (ismét) a már az ókor óta ismert „*lények létrája*” elképzelést. Az atomoktól az arkangyalokig feszítette a létezők láncolatát. A legalacsonyabb és a legmagasabb rendű létező között végtelen sok és meghatározatlan fokú átmenet lehetséges. Csak a Teremtő van a láncon kívül, aki az egészet alkotta. Az ásványok és a növények között az azbeszt, a növény és az állat között a hidra, a halak és a hüllők között az angolna, a halak és a madarak között a repülőhal, a madarak és az emlősök között a denevér, a majmok és az ember között a hottentotta az átmeneti alak. A létrafokokból álló lánc jellemzője az állandóság és a Teremtő akarata szerinti fokozatos tökéletesség. De egyik láncszem nem alakulhat át egy másikká.

1778-ban (halála évében) Linné kihagyta művéből a fajok állandóságának („*nullae species novae*”) elvét.

Az élet keletkezése vonatkozásában két nézet volt elterjedt: az egyik szerint Isten teremtette a növényeket és az állatokat, a(z ókorból származó) másik szerint viszont az élőlények *ősnemződéssel* (*generatio spontanea*) jönnek létre bizonyos körülmények között nem élő anyagokból. A XVIII. században kezdett összeomlani az ősnemződés régi elképzelése, de csak a XIX. század közepe után sikerült Louis Pasteurnak végérvényesen elvetnie (az 1860-as években).

A XVII. és a XVIII. században az egyedfejlődésről alkotott elképzeléseket a *preformizmus* uralta: a kifejlett lény szervei már miniatűr formában eleve benne vannak vagy a petesejtben, vagy a hímivarsejtben. A XVIII. században azonban itt is megindult valamiféle mozgás, valami dinamika keresése: a preformista nézetek mellett erősödött a kritika, és kezdett kialakulni az *epigenetikai iskola*. Ez az iskola úgy vélte, hogy a tojás vagy pete kezdetben nem differenciált, nincs benne preformáltan az eljövendő nemzedékek sora, hanem az egyedfejlődés egymás utáni kifejlési lépések sorozataként valósul meg. A nézetet legjobban Caspar Friedrich Wolff képviselte 1759-ben írt értekezésében.



A csirkeembrió fejlődése a tojásban C. F. Wolff *Theoria generationis* című könyvéből

A XVIII. század vége felé és a XIX. század elején sokfelé szerveztek a gyarmatosítást segítő *felfedező expedíciókat*, rendszerint egyik vagy másik kormány felügyelete alatt. Pl. az angol kormány finanszírozta a leghíresebb XVIII. és XIX. századi expedíciókat, az „Endeavour”-t, az „Investigator”-t, a „Beagle”-t és a „Challenger”-t. Az „Endeavour”-t James Cook kapitány vezette a dél-tengeri szigetekre, Új-Zélandba, Új-Guineába és Ausztráliába 1768-ban. Ezek jelentősen növelték a növényi és az állati életformákról szerzett ismereteket, mert az expedíciók már tudományos kutatókkal is kiegészültek. Az 1768-as ausztráliai expedíción Joseph Banks fiatal természettudós óriási növény- és jegyzetgyűjteményt állított össze. Ugyanerre a területre vezették az „Investigator” nevű expedíciót is 1801-ben, amelyben közreműködött a botanikus Robert Brown; a munkája Ausztrália és Új-Zéland növényeiről klasszikussá vált. Különösen nagy jelentőségű volt annak leírása, hogy bizonyos növények hogyan alkalmazkodnak a különböző környezeti feltételekhez. A nagy utazók között kell megemlíteni Alexander von Humboldt (1769–1859) porosz természettudós bárót, aki a XVIII. és a XIX. század fordulóján bejárta Közép- és Dél-Amerika trópusi területeit, tanulmányozta a róla elnevezett nagy tengeráramlást, majd beutazta Közép-Ázsiát is. Munkái hozzájárultak az éghajlat, a glaciológia, az óceánográfia, a vulkanológia, a néprajz és az antropológia fejlődéséhez, és az 1805-ben kiadott *Géographie des plantes* (Növényföldrajz) című művével megalapozta az életföldrajzot, leírva a növényzet formációit. A 13 kötetes *Voyages aux régions équinoxiales* (Utazások a napéjegyenlőség régióiban) és az öt kötetet megért *Kosmos* című kiadványa szintje ontják az új tudományos eszméket. Intenzívebbé váltak a geológiai kutatások is, amelyek kapcsán egyre több *ősmaradvány* került felszínre. A felfedező expedíciók ismeretanyaga és a feltárt ősmaradványok feldolgozása, értelmezése a XIX. században az *evolúció elméleteinek* kialakulásához vezetett. Az első evolúciós gondolatok francia földön születnek a felvilágosodás gondolatvilágában.

1. A rendszerezett sokféleség magyarázata: átalakulások vagy helyettesítések

Az evolúciós gondolat térhódításához az alapokat a rendszertan, az összehasonlító anatómiai kutatások és az ősmaradványok elemzése szolgáltatták. Már a XVI. századi anatómusok és zoológusok észrevettek bizonyos hasonlóságokat az állatok anatómiájában; különösen fontos e tekintetben Edward Tysonnak a csimpánzot és az embert összehasonlító anatómiája. A XVII. század utolsó évtizedeiben kezdték a biológusok felismerni, hogy még az ember megértése szempontjából is fontos ismeretek nyerhetők az *állatok összehasonlító tanulmányozásából*. Addig az anatómusok csak az emberi szervezet jobb megértésére törekedtek. Mégis a *homológia* (hasonlóság az eredet, a közös származás alapján) és az *analógia* (hasonlóság a megjelenésben a hasonló funkciók alapján) struktúrákat illető iker koncepciói a XIX. században élt brit anatómus, Richard Owen teremtményei. Ezek a fogalmak megelőzik ugyan a darwini evolúciós szemléletet, ám azok az anatómiai adatok, amelyekre alapozódtak, a nagy német összehasonlító anatómus, Carl Gegenbaur munkájának eredményeképpen váltak az evolúciós változások fontos bizonyítékaivá az évszázad közepe után. Így történt ez annak ellenére, hogy maga Owen nem akarta elfogadni az életformák közös eredetből való szétágazó különbözővé válásának nézetét. Mindegyik tudományterületen további fejlődést három francia biológus kezdeményezett: Georges Louis Leclerc, Buffon grófja, aztán Jean Baptiste Lamarck és Georges Cuvier. Mindegyikük közreműködése jelentős a biológiában.

Az ókor óta a világ leírásának, megértésének és osztályozásának tudományát *természetrájnak* nevezték. Az ókorban a természetrájk az ásványokkal, a növényekkel és az állatokkal foglalkozott, Arisztotelész egészítette ki az emberrel és a lelki világgal. A természetrájk a XVIII. században vált aztán módszeressé Adanson francia botanikus fellépésével, rendszerezési tudománnyá pedig Linné munkásságával lett. A természetrájk rendszeres leíró jellegű tudománnyá akkor kezdett válni, amikor Georges Louis Leclerc, Buffon grófja (1707–1788) azzá tette.

Buffon a francia felvilágosodás legnépszerűbb és leghatásosabb természetfilozófusa volt. Matematikát, fizikát és botanikát tanult Londonban, magántudósként lefordította Franciaországban Newton és Hales műveit; fizikai vizsgálatoknak szentelte magát. 26 évesen akadémikus. 1739-ben kinevezték a Jardin du Roi (Királyi Fűvészkert) igazgatójának, a királyi természeti kabinet vezetőjének. Utóbbi gyűjteményt megsokszorozta és leírta (ez lett később az alapállománya a Musée National d'Histoire naturelle-nek). Ettől kezdve a párizsi Musée National d'Histoire naturelle (a Nemzeti Természetrájk Múzeum) fontos *tudományos kutatóközponttá* is vált, mert Buffon a múzeumot a természetnek szentelt tudományos műhellyé nyilvánította, és a professzori karra bízta a tudományos irányítását. Már az életében legendák övezték. Fiatalos, stílusos, öntudatos; írásai népszerűek és nagy hatásúak. Voltaire „második Arkhimédész”-nek, Diderot meg „Franciaország Pliniusának és Arisztotelészének” nevezte. Tanulmányozta a Párizs környéki földtani rétegeket.

1749-ben adták ki *La théorie de la Terre (A Föld elmélete)* című munkáját. Ebben – Xenophón, Leonardo da Vinci vagy Apáczai Csere János után – kifejti a *fossziliák valódi természetét*: ezek az egykori tengeri élőlények maradványai. Rájön, hogy ezek a rétegek nem keletkezhetnek az özönvíz 40 napja alatt! A Föld kora szerinte 74 832 év. A párizsi egyetem teológusai rögtön felismerték, hogy a Biblia tekintélye forog kockán.

1751-ben a Sorbonne 16 állításának visszavonására kényszerítette. Buffon engedett; megírta barátainak, hogy a vallás kell a népnek, és ha a Sorbonne a felismeréseinek kicsavarására kényszeríti, az elégtételt megadja (hiszen az emberek elég buták ahhoz, hogy ezzel meg is elégedjenek).



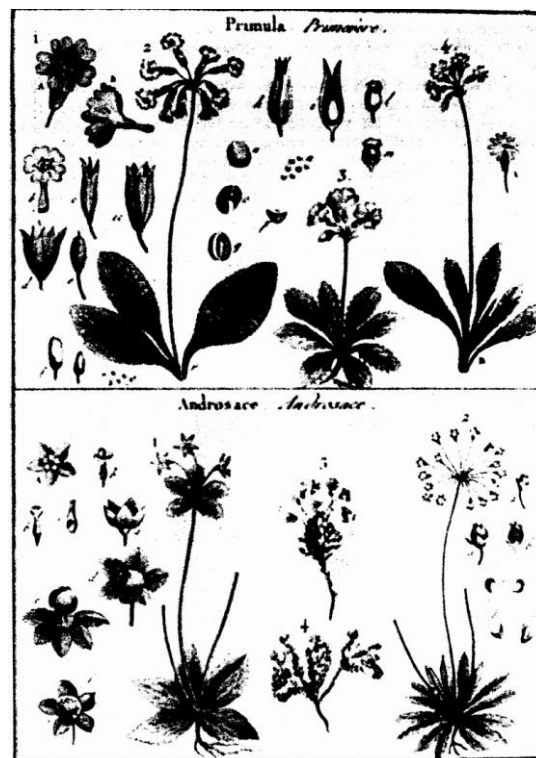
A róka ábrázolása Buffon Histoire naturelle ... című művében

A „természtörténet”-et bizonyos magasságba emelte; kereste az általános természeti törvényeket; általános és speciális természet történetet különböztetett meg. 1749 és 1804 között publikálták *L’histoire naturelle, générale et particulière* (Általános és részletes természetrajz) című 36 kötetes művét (amit több szerzővel – köztük Daubentonnal és Lacepède-del – együtt írt). Ebben foglalkozott a Föld keletkezésével, a földtani korszakokkal, az emberek, az állatok – külön a madarak – és az ásványok természetrajzának leírásával. A varázslatosan szép kötetek egyesek szerint 50 ezer példányban keltek el. Ennek a hatalmas műnek – a hiányosságai ellenére is – az az érdeme, hogy általános törvényszerűségeket és átfogó hipotéziseket állít föl a természetre vonatkozóan. Ebben Buffon azt vetette Linné szemére, hogy a rendszerezés csakis gyakorlati célokat szolgál, hiszen nem lehet az élőlényeket a valóságban merev kategóriákba sorolni. Elsőként állította, hogy az állatok és a növények osztályozása által sejtetett rokonsági viszonyok valós természetűek lehetnek. Buffon vitt először az anatómiába funkcionális szemléletet: amellett, hogy leírta az egyes állatok alak- és bonctani adatait, feltüntette a viselkedésüket és a környezetükhöz való viszonyulásukat is. A leírásaiban az egymáshoz közel álló fajok rokon vonásait kutatta. Ezzel – Linnével ellentétben, aki majdnem élete végéig a teremtésmélet híve maradt – Buffon megvetette az *állatvilág átalakulásáról* (transzformációjáról) alkotott elképzelések alapjait. Az élőlények közötti eltéréseket földtörténeti okokkal magyarázta. Az 1778-ban kiadott *Les époques de la nature* (A természet korszakai) írása műve a „preklasszikus geológia” mesterműve. E könyvében a Föld történetének korszakolására *új földtörténeti kronológiát* állított fel; a földtani ismereteket teljesen újszerűen, a *fejlődés megsejtésével* foglalta össze. Ebből kiderül, hogy szerinte a természet ugyanolyan idős, mint az anyag, a tér és az idő. *Minden változik*: az anyag és az alak új összetételben jelentkezik. A természet szabályos és folytonos mozgások lassú egymásutánjával halad előre. (Ez az *uniformitarizmus* elve.) A mai élővilág gazdagsága a földtörténeti folyamatok és a környezeti hatások eredménye. Hol állította, hol meg tagadta a fajok állandóságát.

A felvilágosodásnak és a tudományos fellendülésnek pezsgő időszakában élt és alkotott három tudós ember, akiknek munkássága szoros kapcsolatban volt egymással és az evolúció

gondolatával is: Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet de Lamarck (1744–1829), Georges Cuvier (1769–1832) és Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772–1844).

Lamarck picardiai elszegényedett falusi arisztokrata családból származott. A család papnak szánta, ezért több éven át az amiens-i jezsuita kollégiumba járt. Ennek befejezése után, 1761 júliusában a francia hadseregbe lépett és katonának készült. Részt vesz a hétéves háborúban. A vellinghauseni (Vesztfália) csatában példás bátorságról tett tanúbizonyságot, amiért tisztté léptették elő. A háború végétől, 1763-tól Toulonban és Monacóban szolgált. A monacói kaszárnyában unatkozott, növényeket gyűjtött, határozott meg, és egy herbárium létrehozásának segítségével sajátította el alapos ismereteit. 1768-ban nyaki bántalma miatt félig nyomorékként elhagyta Monacót és Párizsba ment; először egy bankházban dolgozott, majd 1770-től négy éven át orvoslást tanult, de vizsgát nem tett le. Később botanikusként igyekezett állást szerezni. Bejutott Buffon köreibbe, megismerkedett Bernard és Antoine Laurent de Jussieu botanikusokkal (Bernard J. volt a trianoni Királyi Botanikus Kert felügyelője), a filozófus Jean Jacques Rousseau-val. Ekkor fordult a figyelme a használható rendszerezési elvek és meghatározási módszerek felállításának problémája felé. Kidolgozta a régtől ismert dichotomikus meghatározás modern módszerét, és először az 1778-ban kiadott 3 kötetes *Flore française*-ban (Francia flóra) alkalmazta azt következetesen. Ez Lamarck első műve, csaknem tízévi gyűjtő- és megfigyelő munka eredménye. A munkát Buffon kezdeményezésére állami költségen nyomtatták ki, és Lamarck ennek nyomán gyorsan növényrendszertanosi hírnevet szerzett.



Lamarck növénytani enciklopédiájának egyik oldala

1779-ben Buffon támogatásával Lamarckot kinevezték a párizsi Académie des Sciences (Tudományos Akadémia) botanikai részének munkatársává. 1781–82-ben Buffon fiának házitanáraként beutazta Németországot, Ausztriát, Hollandiát, megfordult Magyarországon is. Mindenütt a fűvészkertek növényeit tanulmányozta. 1782-től dolgozott a *Dictionnaire botanique*-on (Növénytani szótár; 1783–89), ami a Francia Enciklopédia egyik része lett. 1791-től kiadták

egy átfogó botanikai táblázatát is. Közben 1786-ban Lamarckot kinevezték a párizsi Királyi Fűvészkert őréné (tudományos munkatársává; ami egy kiemelkedő botanikus számára elég szerény pozíció). Ekkor még azt vallja, hogy a fajok állandóak és egymástól elhatároltak.

1788-ban a skót geológus, James Hutton megjelentette *The theory of earth* (A Föld elmélete) című művét. Ebben már felmerült a végtelen idő gondolata. Ő lehűlt kéregbe zárt magmának tekintette a Földet, ami olykor kirobban a *vulkánokon* keresztül, a kirobbanó tűz aztán lehűl és kőzetté merevedik. (Ez a vulkanista nézet a katasztrófaelméletet is támadta és az *aktualizmus* elvét hirdette: ugyanolyan természeti erők működnek ma, mint régen is.)

Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772–1844) a zoológus Brisson és a mineralógus Haüy tanítványa volt, aki elsősorban kristálytannal foglalkozott.

1789-ben megkezdődött a francia polgári forradalom. A forradalom kitörését Lamarck lelkesen üdvözölte. 1790 és 1793 között emlékiratot írt, és javaslatot tett a Királyi Fűvészkert és Növénygyűjtemény átszervezésére (ez lesz az alapja az új Természettudományi Múzeumnak, 1793-ban). 1793-ban megnyílt a Királyi Fűvészkert helyén az új Musée National d'Histoire naturelle (Nemzeti Természettudományi Múzeum) – később a természettudományi kutatások központja mintegy negyven éven át világviszonylatban is.

Cuvier Normandiában született, vakbuzgó hugenotta családban. 1784 és 1788 között Stuttgartban járt a Hohe Karlsschuléba. 1786-tól 1795-ig d'Héricy gróf házitanítója volt a normandiai Fiquainville-ben (Caen mellett). Itt önállóan és nagy szorgalommal folytatta természetrajzi tanulmányait: átfogó ismereteket szerzett Normandia flórájáról és faunájáról. Különösen sokat foglalkozott a tengeri *gerinctelenek* anatómiai vizsgálatával.

1793-ban a Párizsban újonnan alapított Musée National d'Histoire naturelle-ben (Természettudományi Múzeumban, aminek felállításában Lamarck is közreműködött) Étienne Geoffroy de St.-Hilaire átvette a *gerincesek* professzúráját (és Cuvier-t hívta az intézménybe; ugyanekkor Lamarck a *gerinctelenek* osztályának vezetését kapta), és Lacépède-et követte a botanikus kertben. Intenzíven és sikeresen dolgozott az *összehasonlító anatómia*, az *embriológia* és a *paleontológia* területén.

1794-ben megjelent Lamarcknak egy kétkötetes műve *Vizsgálatok az alapvető fizikai folyamatok okairól* címmel. Bár botanikus volt, mégis 1794-ben a „férges, rovarok és mikroszkópos kicsinységű lények” osztályának lett a vezetője professzorként. Megkezdte új fajok leírását. Végtelen szorgalommal, célirányított akarással és a rendszertanusként szerzett gazdag tapasztalataival a 49 éves Lamarck olyan alaposan beledolgozta magát az új munkaterületébe, hogy az előadói tevékenysége már 1794-ben megkezdődhetett. Ekkor lépett először egy *állatrendszerrel* a nyilvánosság elé. Ebben a rendszerben az állatokat először osztotta *gerinctelenekre* és *gerincesekre*. A Linné-féle beosztás első négy osztályát (emlősök, madarak, hüllők /benne a kétéltűek/, halak) megtartotta, és az 1794-es évben a gerinctelenek rendszere öt osztályt foglalt magába, és ezt aztán 1807-ig tízre bővítette (puhatestűek, kacslábúak, gyűrűsférgesek, rákok, pókok, rovarok, férgek, sugárállatok, polipok és ázalékállatok). Alapvető állatrendszertani műve a 7 kötetes *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (A gerinctelen állatok természetrajza; 1815–22), ami elsőrendű zoológussá avatta.

1794-ben jelent meg Erasmus Darwin (1731–1802) angol orvosnak (Charles Darwin nagyapjának) *Zoonomia, or the laws of organic life* (Zoonómia avagy a szerves élet törvényei) című műve, amiben arra a következtetésre jutott, hogy a faj közös ősből származhat, és hogy az állatok között harc folyik a létezésért; tehát már felveti a szelekció gondolatát. (Franciaországban csak 1810-ben adják ki, és Lamarck valószínűleg nem olvasta.)

1795-ben Lamarck állandóan a múzeum épületében dolgozott. Foglalkozik kémiával is (de az Lavoisier munkáihoz képest „utolsó alkimista”-nak mutatja). Ugyanezen év tavaszán Cuvier-t Étienne Geoffroy Saint-Hilaire hívta Párizsba a mezőgazdasági specialista és katonaoorvos Tessier abbé ajánlására. Ez évben Cuvier a Collège de France-ban az összehasonlító anatómia professzora lett; állattani előadásokat kezdett az École centrale-ban, majd az Académie des Sciences tagjává is megválasztották. 1796-ban Cuvier megállapította, hogy a *mamut* fosszilis, kihalt lény, és más fajhoz tartozik, mint az elefánt.

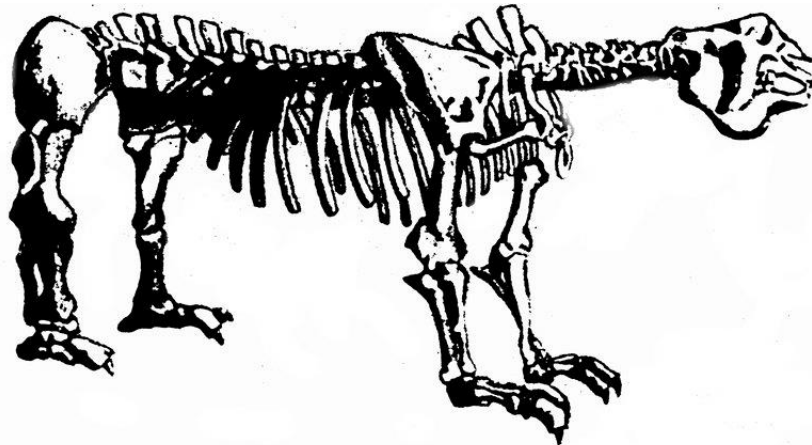
A XVIII–XIX. század fordulójáig Lamarck is – kortársainak többségéhez hasonlóan – meg volt győződve a fajok változatlanúságáról; hitt a fajok változatlanúságában. Közben rendszertani munkássága során 1797-ben Lamarck elkülönítette a sugaras felépítésű *korallokat* a többi gerinctelentől.

1797 és 1800 között Lamarck behatóan tanulmányozta az egykor élt fosszilis *kagylókat* és *csigákat*, valamint a ma is élő rokonaikat. A múzeumi megfigyeléseit kiegészíti a Párizsi-medencében végzett geológiai és őslénytan terepmunkával. A megkövesedett (fosszilis) és a ma is élő (recens) szervezetek speciális rendszerező kutatása által egyre szilárdabbá vált azonban az a nézete, hogy a fajok mégis csak valamiféle *átalakuláson* („transzformáción”) mentek át, vagyis hogy változékonyak.

1798-ban É. Geoffroy de St.-Hilaire részt vett a franciák egyiptomi expedíciójában, majd kiértékelte az általuk hozott nagy mennyiségű gyűjtött anyagot (akárcsak az 1810-ben Portugáliából hozott anyagokat is).

1798-ban Cuvier is a párizsi Musée National d’Histoire naturelle-be került, szintén Buffon tanítványaként. Még ebben az évben adta ki a *Tableau élémentaire de l’histoire naturelle des animaux* (Az állatok természetrajzának elemi táblázatai) című illusztrált zoológia-tankönyvét, már mint a párizsi Musée National d’Histoire Naturelle munkatársa. 1798 és 1805 között Cuvier megjelentette *Leçons d’anatomie comparée* (Összehasonlító anatómiai leckék) című 5 kötetes művét. Ebben megalapozta a modern *összehasonlító anatómiát*. Az összehasonlító anatómia Cuvier számára fontos munkamódszer volt, amit ő alapvetően és döntően elő is mozdított új kutatási módszerek bevezetésével, és ennek nyomán modern tudományos diszciplínává alakított. Az összehasonlító anatómiát összekapcsolta a zoológiával; ezáltal új alapokat hozott létre az állatrendszertan számára, és megalapozta az ősellattant. Az 5 kötetes nagy munkájában fektette le a *korreláció* elvét (amely a felfogásában részben teleologikus jellegű): a szervezet egyes részei kölcsönösen hatnak egymás működésére, azok tehát korreláltak egymással, így aztán a szervezetben egyik rész sem változhat meg anélkül, hogy a többi résznek és a szervezet egészének a változását ne vonná maga után. Ennek értelmében az állati szervezet zárt rendszerében az egyes szervek kölcsönösen meghatározzák egymás működését, kifejlődését. Ebből következik a *rekonstrukció* gyakorlata: egy-egy megkövesedett maradványból vissza lehet következtetni a szervezet egészére. (E rekonstrukciónak köszönheti az őslénytan az első lendületét.) A korreláció elve alapján lehetségesnek tartotta azt, hogy a kihalt állatokat az ásatások során előkerülő maradványaik alapján rekonstruálni lehessen. Bizonyos részek azonban viszonylag kevésbé változnak a szervezetek között (invariánsak); ezek használhatók a legjobban az osztályozásra. A korrelációk elgondolásának háttérében az az előfeltevés állt, hogy bármely állat annyira alkalmazkodott a környezetéhez (vagy a létezésének feltételeihez), hogy ebben a környezetben (vagy viszonyrendszer közepette) sikeresen tud működni. Az összehasonlító anatómia módszerét alkalmazta Cuvier azon kihalt állatok fosszilis maradványainak vizsgálatára is, amiket a Párizs melletti Montmartre kőbányáiban talált; összehasonlította azok maradványait

a ma is élő (recens) szervezetekéivel. Így például 1796-ban a fosszilis *mamutot* ma már nem élő fajként ismerte fel (vagyis nem tartotta a ma élő elefántok őséneket).



Egy Megatherium rekonstrukciója Cuvier szerint

A XVIII. század végén és a XIX. század elején a megkövült és a mai állatvilág közti eltéréseket háromféle úton vélték magyarázni. 1. A korábban élt faj *katasztrófa* útján kihalt (ennek az elgondolásnak addigra már számos híve volt: Bonnet, Buffon, Maupertuis, Pallas, Camper vagy Cabanis, de még Holbach, Herder vagy Kant is a katasztrófaelmélet híve volt; részletes kifejtője azonban később Georges Cuvier lett). 2. A korábban élt faj *transzformált alakban* tovább él ma is – ezt támasztotta alá a *Trigonia* kagyló ausztráliai felfedezése, aminek megkövült rokonait Európában csak a krétaidőszaki földtani rétegekből ismerték. Ennek a nézetnek a híve volt Lamarck és még többen mások. 3. A fosszilis megismert faj *elvándorolt*, és ma még ismeretlen élőhelyen tovább él.

1800. május 11-én Lamarck az évadnyitó előadásában először állapította meg, hogy „a természet halad”. Amikor a szervezeteknek a fokozódó bonyolódással járó fejlődését hangsúlyozta, nem állította ugyanakkor, hogy egyetlen lineáris sor létezne az egyszerűtől az összetettig. Nincs szabályos távolság a „lépcsőfokok” között sem. 1800-ban pedig felismerte, hogy a *pókok* (Arachnida) alapvetően különböznek a *rovaroktól* (Insecta); ezért elválasztotta őket egymástól. A származástani (transzformációs) nézeteinek még szűken vázolt első elképzelését Lamarck az 1801-ben publikált *Le système des animaux sans vertèbres* (A gerinctelen állatok rendszere) című művének előszavában (Discours préliminaire) írta le.

1802-ben Lamarck megjelentette *Recherches sur l'organisation des corps vivants* (Vizsgálatok az élő testek szerveződéséről) című művét. Ebben megalkotta a *gerinctelenek* új csoportját és létrehozta a rendszerüket. Egy lábjegyzetben megemlítette, hogy a földtani vizsgálatai győzték meg arról, hogy *a fajok nem állandók*. „A valóságban csak az egyedek léteznek” (tehát kétség merült fel benne a fajok tényleges mibenlétét illetően). Leszögezte: „Meg vagyok győződve arról, hogy az élet nagyon természetes jelenség, fizikai tény, és valójában nincs semmiféle különleges tulajdonsága”.

Az 1802-ben megjelentetett *Hydrogeologia* című munkájában már az évszázadok ezreire vagy millióira utalt. Szerinte durván 900 millió évvel ezelőtt volt egy olyan gyökeres változás, ami az óceánok rétegeit létrehozta. Cuvier szerint ugyanakkor a végtelen idő a mágikus vallásokban játszik szerepet, és Lamarcknál csak arra való, hogy megnyugtassa kételyeiben és feleletet adhasson vele az olvasók ellenvetéseire. Cuvier-nek kapóra jött Napóleon egyiptomi háborúja: a

hadizsákmányból számos múmia került elő – íbiszek, macskák, krokodilok –, amelyek anatómiai felépítése pontosan egyezett a ma élőkével. Tehát Cuvier szerint a fajok mégiscsak állandók. Lamarck szerint azonban Egyiptomban a környezeti feltételek az utolsó évezredek során állandóak voltak, és ezzel magyarázható a fejlődés hiánya.

1802-ben Cuvier-t megválasztották a Francia Tudományos Akadémia matematikai-fizikai osztályának titkárává, ugyanakkor kinevezték a *gerincesek összehasonlító anatómiája* professzorának. (Napoleon támaszkodott az ítéleteire; a Bourbonok meg báróvá tették.)

1808 táján Lamarck szerint „a faj, tudjuk, nem más, mint a hasonló egyedek gyűjteménye”. Valójában tehát nem hitt sem a faj, sem a magasabb rendszertani egységek valóságos létezésében (tehát nominalista és antiesszencialista – szerinte a fajnevezések csak nevek, szavak; tagadta, hogy az adott létezők valamilyen „lényeg” vagy „archetípus” megtestesítői lennének). 1809-ben pedig önálló csoportnak tartja az állatvilágon belül a *gyűrűsférgeket* (Annelida).

1809-ben Lamarck megjelentette fő művét, a *Philosophie zoologique*-ot (Állattani filozófiát), az élő szervezetek hosszabb időtartam alatt végbemenő transzformációs (evolúciós) fejlődésének részletes elméletét. Szerinte nagy űr van a „szervetlen” és a „szerves” (élő) között. A szerves világ kifejezésére ebben javasolja a „*biológia*” szót. E művében felvázolja a *fajok transzformációját* és mozgatórugóit. A fejlődésben az *időt* fontosabb tényezőnek véli, mint a „körülmények”-et (a külső környezetet). A természet „állandó és csodálatos haladása”: az egyszerűbb szervezetek kialakulásától a bonyolultabb felépítésűek felé vezet. A „körülmények” (az élő és élettelen életfeltételek) kívülről és csak *áttételesen* módosítják az átalakulást, mindig *lassan hatva*. A külső körülmények serkenthetik vagy gátolhatják a fejlődést, ám a szervezet mindenképpen *szenvet* a körülményeitől. A körülmények rendellenessé változtathatják, lerombolhatják a szervezeteket, de a környezet nem tör az élő elpusztítására. A halál oka lényegében az élőben van és nem rajta kívül. A környezet mindenképpen új *kényszereket*, „szükség”-eket („belső ellentmondásokat”) hoz létre (amit egyesek „tökéletességre törekvés”-nek magyaráztak), tehát nem megőrző (konzerváló) tényező, hanem eszköz az önmegőrzés konzervatív erőinek áttörésére; lerombolhatja a szervezetet, *de ösztönözhet új alkalmazkodásra* is új alkalmazkodási módok létrehozásával, új szervek kialakításával. A körülmények ekkor is csak közvetett és módosító hatásúak, sohasem tudják megváltoztatni a szervezetek általános felépítését, hanem csak a részekre hatnak *új igények támasztásával*. Az új szervet tehát a *funkció* teremti az új igényeknek „iparkodván” megfelelni, a szükségletek kielégítése vezet a szervek módosulásához – nem pedig a környezet hatásai. A viselkedés, az életmód módosítja idővel az állat struktúráját. Az *alkalmazkodás* tehát (bár ezt a fogalmat nem használja, az majd csak 1850-ben jelenik meg franciául) összetett, funkcionális folyamat, nem tudatos, és pláne nem akarat vagy vágy eredménye. Ha a körülmények nem változnak, akkor a fejlődés annyira lelassul, hogy rövidebb távon nem vehető észre. Arra nem próbált magyarázatot adni, hogy miért alkalmazkodtak az élőlények olyan sokféleképpen az azonos életkörülményekhez. Ha csak a körülmények határoznák meg a szervezet alakját és működését, akkor ugyanabban a környezetben (pl. a trópusi őserdőben) hasonló felépítésű szervezeteknek kellene élni; de ez nincs így. A környezeti hatással csak a különböző törzsekbe tartozó szervezetek alaki hasonlóságát (modern szóval: konvergenciáját) lehetne értelmezni. Az alkalmazkodás azonban mégsem döntő tényező, mert a körülményeknek nincsenek „szankcióik”, hiszen – Lamarck szerint – *nem vezetnek kihaláshoz* (csak transzformációhoz). Nincsenek tehát katasztrófák. (A véletlenszerű hirtelen fellépő változások lehetősége nem merült fel gondolatrendszerében.) Az egyszer megszerzett sajátosságok nyilván öröklődnek is. (Ezt így

tartotta az ókortól kezdve szinte mindenki, kevés kivétellel, mint pl. I. Kant.) Megfogalmazott két transzformációs törvényt.

I. *transzformációs (evolúciós) törvény*: minden olyan állatnál, amely a fejlődésének célját még nem haladta túl, egy szerv gyakoribb és állandó *használata* azt fokozatosan erősíti, fejleszti és megnagyobbítja, egyre nagyobb erőt kölcsönöz neki, ami ennek használati időtartamával arányos; míg egy szerv állandó *nemhasználata* azt fokozatosan egyre gyengébbé és egyre rosszabbá teszi, a képességeit egyre jobban csökkenti és végül hagyja eltűnni.

A II. *transzformációs (evolúciós) törvény*: a „szermények megőrződnek” a következő generációkban is, feltéve, hogy az öröklődő megváltozások mindkét nemű szülőnél közösek vagy megvannak annál, amely az utódokat létrehozza (ez a „szerzett tulajdonságok öröklődésének” elképzelése, amit azidőtájt szinte mindenki vallott). Így például a zsiráfok nyaka az állandó nyújtózkodás miatt alakult ilyen hosszúvá, hogy elérjék a fák lombját; a gázlómadarak hosszú lába is az állandó nyújtás miatt lett ilyen hosszú; az úszómadarak lábujjai között az úszóhártya a lábujjak úszáskori szétterpesztése miatt alakult ki. Lamarck tehát felfedezte az *alkalmazkodást* (az adaptációt), és megpróbált magyarázatot adni ennek mechanizmusára. Az alkalmazkodás mechanizmusát finom materiális „fluidumok” hatásában látta, amelyek az állatban létrejövő kényszerektől (egyések szerint „törekvésétől” vagy „akaratótól”) függően a test meghatározott helyeire koncentrálnak, és amelyek a változásokat, módosulásokat előhívják. Ebből vezette le, hogy a hosszabb geológiai időtartam alatt új változatok és végül *megváltozott fajok* keletkeznek. Ezért aztán kihalt fajok Lamarck szerint nincsenek, azok ugyanis átalakulnak más fajokká és úgy élnek tovább. Kivételt jelentenek a nagy állatok számára a Föld egyes száraz területei. Tehát szerinte a szervezet és a környezete közötti kölcsönhatás, valamint a fajok történeti fejlődése (pontosabban „transzformációja”) mechanisztikus jellegű (ami megfelelt a XVII. század óta kibontakozó mechanikai világképnek). Lamarck a transzformációs módosulást és az alkalmazkodást azonosnak tekintette; szerinte a *fejlődés* a módosulások szakadatlan és hézag, ugrás nélküli lineáris összegződéséből következik (ami a mechanikus determinizmus oksági felfogásának megfelel). Deisztikus beállítódása szerint elfogadta az anyag és a természeti törvények (amiket ő „természetnek” nevezett) megteremtését egy „fenséges teremtető” által, aki azonban ezen teremtető aktus után többé nem avatkozik be a „természet” menetébe. Az első és legegyszerűbb szervezetek (az ázalékállatok és a férgek) *ősnemződéssel* keletkeztek (amit Lamarck még egyes ma élő szervezetek esetében is lehetségesnek tartott; ekkor még a számtalan próbálkozás és bizonyíték ellenére általánosan elfogadott volt az ókori ősnemződés tana). A természet magától fejlődik (transzformációk sorozatain át), és a törvényei szerint módosult organizmusokat hív életre egymás után. A *lelket* a viselkedés mozgatórugójának tartotta. „Az emberi lény, hasonlóan más objektumokhoz, materiális entitás, és emberi lélek nem létezhet emberi testtől függetlenül.”

Tévedései ellenére a *Philosophie zoologique*-ban egy gondolkodó először dolgozta ki zárt elmélet formájában az élővilág fejlődésének gondolatát; az elmélet korának mechanikus materialista, természettörténeti alapján a fajok változékonyságát egy transzformációs folyamat részeként fogta fel, az első élő szervezeteket is anyagiakból létrejötteknek tartotta, és mindenféle, a természetén kívüli teleológiai elvet elutasított. A néhány ponton rossz útra tért konstrukciók a mechanikus materializmus gyengeségeiből, az öröklődési folyamat akkor még nemismeréséből adódtak.

Lamarckot mind a botanika, mind a zoológia területén kiváló rendszerezőnek ismerték el, de fejlődéstana nem kapott méltó elismerést. A gondolatait ugyan ismerték és vitatták is, de

kortársainak többsége azokat elutasította. Elméletét egy tényezőre alapozta, a belső kényszerek elvére, ami nem bizonyult elégségesnek. A fogadtatásában azonban nem szabad Cuvier lebecsülését sem figyelmen kívül hagyni.

1812-ben Cuvier kiadatta *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes* (Vizsgálatok a négylábúak megkövesedett csontozatáról) című 4 kötetes munkáját. Ezzel a művével megalapozta a *gerincesek őslénytana*t (paleontológiáját): ő fejlesztette rendszerező tudománnyá a paleontológiát. Kimutatta, hogy minél fiatalabb földtani rétegből kerülnek elő a maradványok, általában annál bonyolultabb szervezetű állatoktól származnak. Ezzel a megállapításával – akarata ellenére – tulajdonképpen az evolúció tanának tudományos alapjait hozta létre. A munkában a Föld történetét *négy korszakra* osztotta a *gerincesek fejlettségi fok*a szerint: a földtörténeti középkornak megfelel a halak és a hüllők kora, a harmadidőszak a kis-, majd a nagyemlősök kora, a negyedidőszak pedig az ember kora; a középkor előtt nem éltek gerincesek. (Ebben az értelemben Cuvier progresszionistának mondható, noha tagadta az evolúciót.)

1815-ben Lamarck már négy *transzformációs (evolúciós) törvényt* fogalmaz meg. I. törvény: a fejlődés során *a méretek növekednek* (a paleontológia Cope-törvénye). [A törvény érvényessége korlátozott, mert nemcsak az óriás termet az előnyös.] II. törvény: az *új szerv* keletkezését az *új szükség*ek idézik elő. III. törvény: a korábbi „használat-nemhasználat” törvénye. IV. törvény: a „szervevények megőrződésének” törvénye. Az élőlények transzformált egymásutánja semmiféle kapcsolatban nem áll Bonnet elképzelésével; a „lények létrája” tehát nem létezik.

1815 és 1822 között Lamarck megjelentette *L'histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (A gerinctelen állatok természetrajza) című munkáját, amiben felállítja a *gerinctelenek új rendszertanát*. Szerinte az élővilág már a kezdet kezdetén V alakban kettéágazik, és nincsen „zoofiton” (azaz az állat és a növény között feltételezett átmenet). A nagyobb rendszertani egységek (mai értelmű osztályok, állattörzsek, Lamarck szóhasználatával a „tömegek”) között hézagok vannak. Ezért az átmenetnek vélt kacsacsőrű emlőst önálló csoportnak tartotta. Mivel a fejlődés a fokozódó bonyolódás irányába vezet, ezért a „tömegek” sorozatát a legegyszerűbbel kezdve rendezte el a legösszetettebbig (tehát rendszerét nem a „véglények”-kel fejezte be, hanem azokkal kezdte). Felismerte, hogy általában az idősebb kőzetekben egyszerűbb felépítésű fossziliák találhatók, mint a fiatalabb korúakban. (A réteg- és időszakjelző fossziliákról tett megjegyzéseit az angol geológusok elismerték.) Az állatvilágot *17 csoportra* osztotta. Ezeket három nagy egységbe fogta össze az *idegrendszerük fejlettségi fok*a szerint (ezért joggal nevezhető az *összehasonlító pszichológia* megalapozójának is). Legfejletlenebbek a bonyolult idegrendszer nélküliek, az „*apatikusok*”; a fejlettebb idegrendszerűek már „*szenzibilis*” szervezetek – ide tartoznak szerinte a puhatestűek (Mollusca), a gyűrűsférgék (Annelida) és az ízeltlábúak (Arthropoda). A fejlett és bonyolultabb idegrendszerű állatok az „*intelligensek*”, a gerincesek. Az apatikus és a szenzibilis állatok lehetnek szelvényezetlen testűek (Inarticulata) vagy szelvényezett (Articulata). Az egyes csoportok villás elágazással kapcsolódnak egymáshoz. Így felismerte, hogy a madarak és az emlősök egyetlen közös csoportból, a hüllőktől származnak. A rendszere lényegileg megfelel egy *törzsfának* (vagy kladogramnak).

Deterville új természettudományi szótára számára 1817-ben írt dolgozatában Lamarck a *fajt* már valóságos, de változó rendszertani egységnek tekinti. „A fajok csak viszonylagos állandósággal rendelkeznek, ameddig egy és ugyanazon körülmények között léteznek.”

Étienne Geoffroy Saint-Hilaire vezette be az „*analóg szervek*” fogalmát (a mai „homológ szerv” értelmében) és az „*általános állattan*” fogalmát. Kísérletes embriológiai vizsgálatokat végzett, és tudományként megalapozta a *teratológiát* (a torzfejlődések tanát). Feltűnést keltettek

természetfilozófiai nézetei, amelyek részben spekulatívák voltak (mint az európai természetfilozófiai hagyomány egy jó része általában is). Ezeket részben *Philosophie anatomique* című 2 kötetes munkájában fejtette ki (1818–22).

Cuvier a párizsi medencében végzett őslénytani kutatásaival felismerte, hogy a különféle földtani időszakokhoz egészen sajátos fauna rendelhető hozzá, és ezek sokfélesége és specializáltsága az egyre följebb elhelyezkedő rétegekben növekszik. Míg Lamarck a valamikori élőlényeknek ezt a sokféleségét az állandóan zajló transzformációs folyamattal próbálta magyarázni, Cuvier a helyesen megállapított tények ellenére mégis másféle következtetésre jutott. 1817-ben az őslénytani műve 2. kiadásának bevezetésében közölte a *katasztrófaelméletét*. A lamarcki fokozatos fejlődés cáfolására elevenítette fel ezt a régebbi tant. A természet időszaki nagy kataklizmáival magyarázta az ősi fajok eltűnését, az új fajok felléptét – amikre az őslénytan bizonyítékokat látszott szolgáltatni. A véletlenszerű természeti katasztrófa elpusztította vagy elkergette onnan az állatvilágot. Ezért a most kiásott őslények maradványai nem a ma élő fajok elődeitől származnak, hanem a póruktól járt fajok. Minden egyes katasztrófa után más területekről az állatok újra és újra benépesítették a vizsgált régiót (náluk sem volt szó tehát állandó újratelepedésről). Ez elvben jelentette a fajállandóság felfogásának szilárd megtartását és a folytonos fejlődés tagadását. Cuvier is kiállt azonban a tengeri állatok bizonyos átváltozásai mellett.

A korreláción alapuló és az invariáns jegyeket figyelembe vevő összehasonlító anatómiai kutatásai általánosításaként Cuvier az állatokat 4 fő csoportba („enbranchements”) *osztotta be*. 1817-ben megjelentette *Le règne animal distribué d'après son organisation* (Az állatok világa a szerveződés alapján beosztva) című munkáját. Ebben az állatvilágot *négy alaptípusba* sorolta: a sugaras szimmetriájú állatok a *Radiata*, a szelvényezették az *Articulata*; önálló típusok a *Mollusca* (puhatestűek) és a *Vertebrata* (gerincesek). A *gerinces* állatok négy osztálya nála az emlősök, a madarak, a hüllők és a halak. Az osztályozás alapjául ő is az *idegrendszer fejlettségét* tette meg. Szerinte minden egyes fő csoport számára típusos egy bizonyos szervezettelépítési terv, ami a felfogása szerint egy fő csoport minden egyes képviselőjénél többé-kevésbé módosult, de alapvetően mégis ugyanúgy fordul elő. A négy típus nem mutat hasonlóságot és átmenetet sem. Ezeket az alaptípusokat a katasztrófák nem módosítják. (Ezzel ez elgondolással ismét a fajok állandóságának tanához adott fogódzót.) Egy fő csoporton belül azonban bizonyos módosulásokat elismert. Ez az ún. *típustan*, ami szerint minden fő csoportra jellegzetes alapvető szerveződési típus létezik.

1818. július vége felé Lamarck megvakult. Munkáit lányának, Rosalindának diktálta tovább. 1820-ban diktált egy művet az *emberről*. Ebben hangsúlyozta a természet vakságát és céltalanságát, de nem említette benne sehol a szabadságot. 1829 karácsony táján hal meg Lamarck. A szegények temetőjében ideiglenesen hantolják el (nem tudni, hol nyugszik).

Étienne Geoffroy Saint-Hilaire harcolt Cuvier típusana ellen, és megpróbálta – a szükséges összehasonlító anatómiai alapozás nélkül – bizonyítani, hogy minden állatnak egyetlen egységes felépítési terve („*unité de composition*”) van. A természet szerinte állítólag arra törekszik, hogy ugyanazokat a szerveket számban és elrendezésben minden állatban ismétlje, de az alakjukat messzemenően változtathatja. Így véleménye szerint a *rovarok* hátukra fordított *gerincesek*nek tekinthetők: a rovarok hasdúcánca megfelelne a gerincesek háti gerincvelőjének, a gerincesekben a test belsejében levő csigolyák a rovaroknál kiterjedtek és azok testét szelvényekként körülfogják. (Hasonló nézeteket fejtett ki Johann Wolfgang Goethe is a növények szervei és a levelek, valamint a gerincesek csigolyái és a koponyacsontok összefüggésében. Nem véletlen, hogy

1830 és 1833 között jelent meg Charles Lyell *Principles of geology (A geológia alapelvei)* című munkája. A katasztrófaelmélet helyébe a *flyamatos lassú fejlődés* elvét helyezte.

Pontos empirikus kutatóként Cuvier ellenezett minden hipotetikus nézetet, elhamarkodott következtetést; ezzel magyarázható, hogy Lamarck transzformációs tanát is ellenezte. Cuvier a „korrelációk elméleté”-nek nevezett szemléletét kissé dogmatikusan követte, és ezért ellentétes állásponton volt, mint a romantikus természetbölcselek, mint pl. Johann Wolfgang Goethe, aki úgy vélte, hogy az állati formákban meg lehet látni a tökéletesedés felé tartó utat. Az *adaptációt* tehát a Cuvier-féle és a természetfilozófiai (Goethe-féle) nézet másképpen tekintette: Cuvier szerint az alkalmazkodás a szükséges szervezeti funkciók következménye, míg Goethe szerint a természet tökéletesedésének kifejeződése. E két gondolkodási áramlat szembenállása vezérmotívum lett a biológia egész történetén át, a XX. századig tartó utóregzésekkel.

Cuvier összehasonlító anatómiai és paleontológiai munkái olyan nagy mennyiségű anyagot szolgáltatottak, hogy az evolúciós elmélet empirikus megalapozásához az alapot jelentősen kiszélesítették. Mégis, 1832-ben, a halála előtt Cuvier kijelentette, hogy a „fosszilis ember nem létezik” (tehát nem ismeri el az ember fejlődését; ez a nézete sokáig gátolta az emberré válás kutatását). Az általa is képviselt kataklizma-elmélet ugyan tudománytalan és ellentétes a valósággal, de a korreláció elve, az összehasonlító anatómiai és a rendszertani kutatásai hatalmas lépésekkel vitték előre az állattant. A fajok állandóságáról vallott kreacionista és a természeti kataklizmák sorozatáról alkotott nézetei viszont még sokáig gátolták az evolúciós gondolat előtérbe kerülését.

1832-ben Lamarckról az emlékbeszédet Cuvier tartotta volna meg, de hirtelen halála megakadályozta ebben. (Az emlékbeszéd teljes szövege nem maradt meg; kegyes kezek kihúzták belőle a legsértőbb részeket.) A megmaradt részek tanúsága szerint kiforgatta és meghamisította Lamarck eredeti szövegeit. Úgy tüntette fel Lamarck elméletét, mintha Lamarck azt állította volna, hogy a „fejlődés” hajtóereje valamiféle „vágy” vagy „tökéletesedésre törekvés” lenne (pedig a „szükség” és a „vágy” vagy „törekvés” között nagy a különbség!). Az egész lamarcki életműből a legsebezhetőbb pontokat emelte ki, és a példáit kifigurázta. Véggkövetkeztetése szerint Lamarck hipotézisei annyira abszurdak, hogy lényegében fölösleges dolog cáfolni azokat. (Sokszor a mai tudománytörténeti irodalom egy jó része Cuvier vádjait visszhangozza.)

2. Az evolúció fő mozgatója: a természetes szelekció

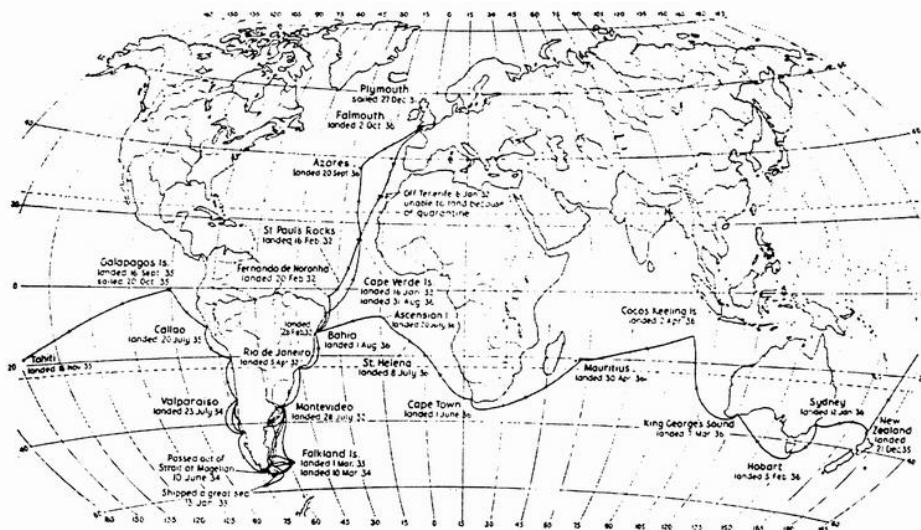
A XVIII. század közepe óta Anglia a kibontakozó ipari forradalom következtében a világ gazdaságilag legfejlettebb és legerősebb országa volt. Az ipari forradalom társadalmi eredménye az ipari kapitalizmus kibontakozása, a szegények és a gazdagok egyre nagyobb elkülönülése. A liberalizmusnak az volt az alapálláspontja, hogy a vállalkozóknak az állami beavatkozástól mentes szabad versenye a fejlődés és főleg a profitbiztosítás legjobb formája – ez határozta meg az angol polgárság politikai gondolkodását. A Napóleon fölött aratott 1814/15-ös győzelem, a tőke elégséges kibontakozási lehetőségei Angliában és a gyarmatokon teret biztosított a humanista tendenciák számára is az angol polgárság számára. Katonai konfliktusok nem voltak, és a kapitalista gazdálkodás számára többé nem szükséges rabszolga-kereskedelem intézményét 1832-ben megszüntették. Az iparban zajló kapitalista fejlődéssel növekedett az érdeklődés a természettudományok iránt is, ami annak előmozdítását is magával hozta Angliában. Ez a társadalmi helyzet és a neki megfelelő uralkodó ideák alakították és befolyásolták Darwin gondolkodását is.

Charles Robert Darwin (1809–1882) más korban, más anyagi-társadalmi körülmények között élt, mint Lamarck: Lamarck a hanyatló feudalizmus, a forradalmak és a restauráció zűrzavarában dolgozott, Darwin viszont a kapitalizmus fejlődő fokán álló Angliában – gyarmatosítás, jólét és rend közepette. Darwin ősei vidéken élő földbirtokosok, tisztviselők, lelkészek, orvosok; apja is orvos, fizikus, Charles volt az ötödik gyermeke.

Charles Darwin abban az évben született, amikor Lamarck publikálta „Philosophie zoologique” című fő művét. Édesanyja halála (1817) után 1825-ig egy nyilvános internátusi iskolába járt, amiben majdnem kizárólag klasszikus nyelveket, egy kevés történelmet és földrajzot tanult. Darwin lassan érő, szemlélődő gyermek volt. Szívesen foglalkozott természeti tárgyakkal, geometriával, Shakespeare történelmi darabjaival, valamint Byron és Scott költeményeivel; vonzotta a kémia, diákkorában a bátyjával együtt éjszakákon át kísérletezett; szívesen gyűjtött köveket, növényeket és rovarokat. 16 évesen apja az edinburghi egyetemre küldte orvostanhallgatónak. Nem bírta a vért és a műtételnél az altatás hiányát. Inkább összebarátkozott a halászokkal, és kijárt velük a tengerre. Mikroszkóposan vizsgálta az állatokat; érdekelt az állattan, főleg a puhatestűek és a rovarok. Földtani előadásokat is hallgatott. Mivel nyilvánvaló lett, hogy orvosnak nem való, apja lelkésznek szánta. A második tanulmányi évben az egyik barátja megismertette Lamarck transzformációs tanával, ami azonban kezdetben alig észrevehető hatást gyakorolt csak rá, ugyanúgy, ahogy nagyapja, Erasmus Darwin (1731–1802) *Zoonomia* című munkája sem hagyott benne komolyabb nyomot. Kétévnyi kelleetlenül abszolválta orvosi tanulmányok után apja azt javasolta neki, hogy papi hivatást válasszon. Ezért apja a cambridge-i egyetem Christ College-ába küldte teológiai tanulmányokra. Darwin nem lelkesedett az ötletért, mert sohasem volt vallásos, de az iskola a legszabadabb unitáriusokhoz tartozott; a vidéki lelkészség gondolata pedig összeegyeztethetőnek tűnt természetkutatói érdeklődésével. Azzal a szándékkal, hogy vidéki pap lesz, 1828-tól 1831-ig Cambridge-ben teológiát tanult. Letette a vizsgát, jóllehet itt is időpocsékolásról panaszkodott, és sokkal szívesebben foglalkozott természettudományokkal. Elolvasta a teológus William Paley (1743–1805) egyik könyvét a szervezetek célszerűségéről, mint annak bizonyítékáról, hogy egy teremtő hozta azokat létre; ez ébresztette föl érdeklődését az élőlények alkalmazkodása iránt. Darwinban nagy izgalmat váltott ki Alexander von Humboldt (1769–1859) dél-amerikai utazásának leírása és John Herschel (1792–1871) bevezetése a természetfilozófiába.

Gondolkodásának fejlődésére nézve nagyon jelentős volt baráti viszonya Stephen Henslow-val (1796–1861), cambridge-i pappal és botanikaprofesszorral. Henslow Darwinnak geológiai tanulmányokat ajánlott és ki is eszközölte találkozását a geológus Adam Sedgwick-kel (1785–1873), akit Darwin 1831-ben elkísért egy geológiai expedícióra Észak-Walesbe. Henslow és Sedgwick felfigyeltek Darwinra, baráti körükbe fogadták, bátorították, megtanították a terepi munka fortélyaira, a földtani megfigyelés, mérés és térképezés alapjaira.

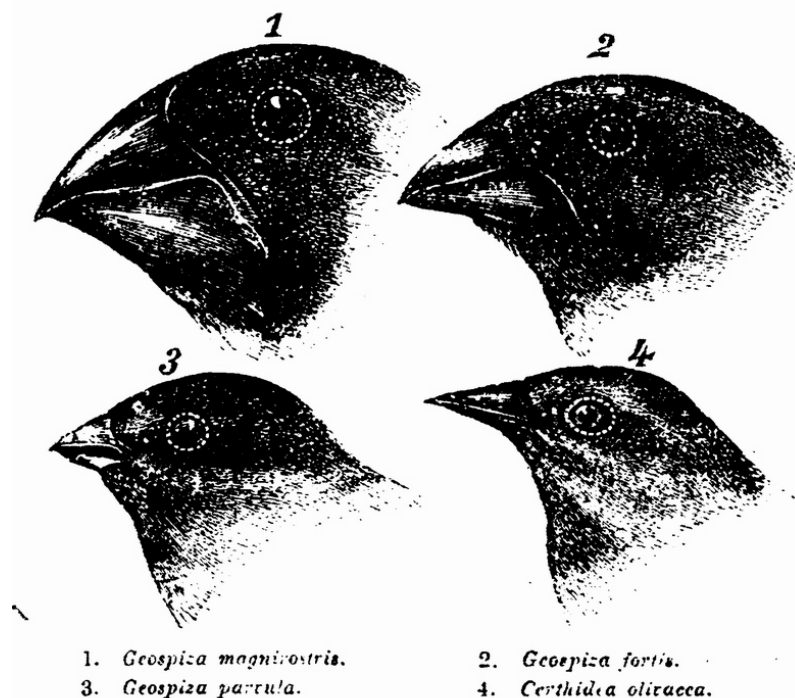
1831 őszén Őfelsége „Beagle” (Vizsla) nevű háromárbocosa arra készült, hogy körülhajózza a Földet. A hajó természetbúvára a hajóorvos, de a vallásos Fitz-Roy kapitány maga mellé keresett valakit, hogy elüsse vele az utazás unalmát. Barátja lemondta az utat, ezért megkérte Henslow-t, hogy ajánljon neki alkalmas társat. Henslow a liberális eszméket valló Darwint ajánlotta, és megajándékozta Charles Lyell *Principles of geology* (A földtan alapelvei) című művének első kötetével. Darwin saját megítélése szerint ez az utazás volt élete „legjelentősebb élménye”.



A Beagle útja

A „Beagle” 1831. december 27-én indult el, átszelte az Atlanti-óceánt, 1832-ben voltak a Zöldfoki-szigeteken, Bahián, Dél-Amerika partjai mentén hajózott lefelé, felfedeztek fosszilis nagyemlősöket. Majd 1833-ban a Magellán-szoroson át a csendes-óceáni parton haladt felfelé Chile partjai mentén. Felfedeztek egy új struccfajt, geológiai és ökológiai vizsgálatokat is végeztek. 1834-ben volt többek között az Andok-expedíció, a Lemuy-Chonos szigetcsoport meglátogatása. 1835-ben átkeltek az Andokon, tettek egy kitérőt a Galapágosz-szigetekre, aztán a kelet-ázsiai szigetvilágon (Tahiti, Új-Zéland) át 1836-ban Ausztráliába jutottak. Onnan a Mauritius-szigeteken és a Jóreménység-fokán át értek haza Angliába 1836. október 2-án.

Darwin a fajok állandóságának hitével szállt fel a hajóra, hiszen a Teremtő létrehozta szerves és szervetlen világ tökéletes harmóniában van egymással. Fokozatosan vesztette el a hitét; megfigyelései egyre inkább szembefordították a Biblia tanaival. Darwin 1845-ben kiadta az utazás leírását (ami kiemelkedő tudománytörténeti dokumentum és különböző nyelvekre is lefordították). Az *Egy természettudós utazása a Föld körül* című könyve nem is annak ecsetelése miatt értékes, amit a fiatal tehetséges természetbúvár felfedezett, hanem mindenekelőtt amiatt, ahogyan a természeti jelenségek sokféleségében az összefüggéseket felismerte és szintetikus végkövetkeztetéseit levonta. Darwin igazi társa ebben Charles Lyell könyvének 1830-ban kiadott első kötete volt, amit az utazás során alaposan tanulmányozott és gyakran fel is használt.



A Darwin-pintyek

Charles Lyell (1797–1875) apja skóciai, műkedvelő botanikus volt, és a fiát jogásznak szánta. Lyell már gyermekkorában is gyűjtötte a kőületeket. Oxfordban megszerezte az ügyvédi diplomát, de pályát változtatott és földtant tanult. Sokat utazott: járt Franciaországban, Spanyolországban, Svájcban, Olaszországban, majd végigutazta Észak-Amerikát. 1823-ban az Angol Geológiai Társaság titkára lett. 1830-ban jelentette meg a *Principles* 1. kötetét, ami sikerkönyv és határkó a földtan történetében. Lyell a földtan professzora lett, 1835-ben pedig a Földtani Társaság elnöke. Kitűnő szervező, bölcs és jószágos ember.

Lyell fő művében, a *Principles of geology*-ban ragyogó szintézisben foglalta össze az előző geológusnemzedék megbízható kutatási eredményeit, és számos új megfigyeléssel egészítette ki azt. Felhasználta Buffon, Hutton és Lamarck felismerését, az *aktualizmust*, ami azt állította, hogy a mai földkérget a ma is rá ható tényezőknek az idő lefutása során összegződő hatása eredményének kell tekinteni; ezért a valamikori, földet átalakító katasztrófák hipotézise fölösleges. Kifejlesztette a földtan tudományos módszereit. *Uniformitarista* is volt: a ma is létező erők a múlttal azonos hatásfokúak, hiszen a természet törvényei változatlanok a térben és az időben. A Föld struktúrája a részletek végtelen változatossága ellenére is állandóan azonos marad: szárazföldek kiemelkednek, a tenger szintje alá süllyedhetnek, változik az éghajlat, de azért a Föld dinamikus egyensúlyi állapotban van, és a múltja nagyon hasonlít a jelenhez. Mivel a jelen működő erők pontosan megfigyelhetők, ebből kiindulva – analóg következtetéssel – rekonstruálhatók az egykori események. *A változások lassúak és állandók. Az élő fajok is változnak*, de az adott típuson belül maradnak, és *nem alakulnak át egymássá*. Elismerte, hogy *van kihalás*, de ilyenkor mindig új faj lép a régi helyére (*helyettesítődés*). Nem ismerte el a katasztrófákat (szétrombolta Cuvier nézetét).

1832-től 1835-ig Darwin Dél-Amerika partjai mentén kutatott, és közben útinaplót vezetett. A patagóniai *kihalt óriás foghíjas és vendégízületes emlősök maradványainak* gyűjtésekor felmerült benne a katasztrófák lehetősége. Patagónia földtanának pontosabb ismerete azonban meggyőzte

arról, hogy a terület lassan és fokozatosan változott. Lyell könyvét végigolvasva sokat gondolkozott a katalizmák és az aktualizmus modelljén; hazatérve Lyell álláspontjára helyezkedett. Naplójában feljegyezte a „*típusok egymásra következésének törvényé*”-t; kézenfekvőnek tűnt hogy a mai *tobzoscák* nagyméretű, de ugyanazon a területen élő típusai ősei lehettek a jelenleg élő kisebbeknek. Ettől kezdve lett igazi bibliája Lyell *Principles* című munkája. Felfogását Darwin alkalmas és szükséges alapnak vélte az őslénytani és életföldrajzi felfedezések tudományos megértése számára, mert ezen az alapon a föld- és az élettörténet folytonossága megragadható. (Első jelentős műve is Lyell földtanának hatására jön létre a korallzátonyokról.) Az útinaplóban 1383 oldal földtani jellegű, és csak 368 oldal tartalmaz állattani megfi

Darwin kezdte kétségbe vonni a fajok változatlanságát (bár Lyell maga bírálta az evolúció gondolatát), nemcsak azért, mert elvetette a katasztrófaelméletet, hanem a biogeográfia és a fajok sokféleségének tényei alapján. *A fajok eredetéhez* írt bevezetésben Darwin azt fejtegette, hogy számára a probléma nem abban áll, hogy vajon a fajok törzsfelődésileg változnak-e, hanem hogy ez a folyamat hogyan történik:

„Ezért nagy jelentőségű, hogy eszközökbe nyerjünk világos bepillantást, amelyek által ilyen változások és alkalmazkodások jöttek létre. A megfigyeléseim kezdetén valószínűnek tűnt a számomra, hogy a háziállatok és a kultúrnövények gondos tanulmányozása e nehéz probléma megoldásához a legjobb kilátást ajánlja föl. Ebben nem is csalódtam.”

Itt alkalmazza Darwin az aktualizmus elvét analógiás következtetés formájában a tenyésztésről a fajok evolúciójára.

Áthajóztak a Magellán-szoroson, megkerülték a Tűzföldet és Chile partjai mentén haladtak fölfelé, majd kitértek a *Galapágosz-szigetek* felé. Darwin itt tanulmányozta a szigetek különlegesen gazdag állatvilágát, főleg a *Darwin-pintyek* életmódját és elterjedését. Feltűnt neki a pintyek hasonlósága a dél-amerikai rokonokhoz, de mégis minden szigeten más és más fajta alkalmazkodást látott. Azt is észrevette, hogy a pintyek eltérnek a teljesen hasonló éghajlatú Zöldfoki-szigetek madaraitól. A teknősfajok is nagy változatosságot mutattak, de minden faj az adott szigeten állandó. Akkor tehát nem a külső körülmények magukban, hanem a *földrajzi elszigetelődés* játszik szerepet abban, hogy az egyes szigetekeken egymással szoros rokonságban élő fajok élnek, de mégis más az életmódjuk. Egyre fontosabbnak tűnt számára az élővilág *térbeli elterjedése*, az ebben mutatkozó törvényszerűségek és az egyes területek *biogeográfiai izolációja* is. Az új típusok létrejöttéhez tehát nem elég a változatosság, a változékonyság meg a külső körülmények különbözősége, hanem a szétkülönülés és az elszigetelődés is alapvető szerepet játszik a különféle alkalmazkodási módok és ezzel új fajok létrejöttében. (Erre Lamarck még nem figyelt fel.) Feltűnik neki *a rendszerezés nehézsége*, amikor új területről vagy idősebb földtani képződményből előkerült leletet akar meghatározni; figyelte *az élő szervezetek közötti szoros – ökológiai – kapcsolatokra*; fontossá vált számára *az időben elhúzódó kihalás* ténye. Felismerte tehát *az élőlények öröklődő változékonyságát* (evolúcióról még nem beszélt). Utazása vége felé felismert egy ellentmondást a geológiai és a biológiai ismeretei alapján: hogyan maradhat a faj változatlan, ha a változó környezetéhez alkalmazkodik?

1836. október 2-án a „Beagle” visszaérkezik Angliába. Darwin ekkor már a Bibliától teljesen függetlenül szemléli a Földet.

A világ körüli útról történt visszatérés után Darwin először Cambridge-ben élt, 1837-től 1842-ig Londonban, attól fogva aztán élete végéig a Kent grófságbeli Down faluban, ahová betegségére való tekintettel visszahúzódott. 1837-ben rendezte útiélményeit, előkészítette a *korallzátonyokról* szóló előadást. (A londoni Földtani Társulatban meg is tartotta az előadást, tanulmánya is ugyanebben az évben jelent meg.)

1837. júliustól 1838-ig új naplók (B, C, D és E) írásába kezdett, amiknek témája a „*transzmutáció*” (a mi szókincsünkkel: a fajkeletkezés). De több naplót is vezetett: az A napló földtani feljegyzéseket tartalmaz; a D-vel egyidőben elkezdte az M naplót is, ami az emberrel, a lélekkel és a materializmussal foglalkozott (ez csak 1957-ben kerül elő), és folytatta az N naplóban (ami az E naplóval egyidős).

1838 áprilisában Darwin a „*transzmutáció*”-val foglalkozó C füzetbe bejegyezte: „Emlékezni az első asztronómusok üldöztetésére.” Papírra vetette az első feljegyzéseket a *fajok problémájáról*, a „*modifikációval történő leszármazás*”-ról (ekkor még így nevezte az evolúciót).

Az iratok rendezése és a gondolatok lejegyzése közben olvasott. Hatottak rá a filozófus-csillagász Herschel és Auguste Comte francia pozitivistá filozófus tanai; az utóbbit kitűnőnek, „*kapitális*”-nak nevezte (főleg azért, mert a természettudományt függetlenítette a teológiai előítéletektől). Ekkorra Darwin tudja: 1. Az *élővilág sokfélesége* lenyűgöző, tehát sok különböző életstratégiai típus létezik. 2. A Föld története hosszú, és a megkövesedett maradványok egyaránt tanúskodnak a *fejlődésről*, az *átalakulásról* és a *kihalásról* is. 3. Egyetlen életstratégiai típuson belül is *sok változat* lehetséges, és felismerte, hogy a változatok között az életben maradás és a szaporodás szempontjából *nemcsak kedvezőek, hanem hátrányos és semleges alakok is* vannak. A *változékonyságot* határtalan, mindenütt érvényesülő, visszafordíthatatlan és irányítatlan öröklődő sajátosságnak gondolta; mindenesetre a változatok *nem ugrásszerűen jönnek létre* (az ezt generáló tényezőt azonban akkor még nem ismerték) – a változékonyság *eredménye nem szükségképpen az alkalmazkodás*, mert akkor nem lenne kihalás. A változat közvetlenül reagálhat a környezet kihívásaira, de az alkalmazkodásban fontos a *szervek használata vagy használaton kívüliisége* is, ami szintén eredményezhet új változatot (vagyis nem tudta – nem is tudhatta – elkülöníteni a mutációt a modifikációtól). A változékonyság már csak a hatásfoka alapján sem lépheti át a fajkeletkezés kereteit, tehát nem tekinthető a fajképződést meghatározó tényezőnek. Elolvasta Thomas Robert Malthus közgazdász (1766–1834) művét, az *Essays on the principle of population* (Értekezés a népesség elveiről) címűt (1798), amiben Malthus azt állította a tőkés rendszerben levő alapvető okok alapján, hogy a népesség mértani, az élelemtermelés viszont csak számtani haladvány szerint nő, tehát *szükségszerű, hogy a népesség egy részének egyre növekvő nyomorban kell élnie, majd elpusztulnia*. Ebből vezette le Malthus a születéskorlátozás mértékletesség és harc árán érvényesülő létrejöttének szükségességét, amihez többek között a szegények támogatásának megvonása, járványok és háborúk járulhatnak hozzá. A táplálékforrásokért *állandó harc* folyik, ami dinamikus egyensúly körüli mozgást jelent: a túlnépesedésnek megfelelően fokozódik a nyomorúság és a halandóság. Darwin felismerte, hogy ez a leírás a természetes élővilágra is érvényes: 4. Malthus tanait kiterjesztve az egész élővilágra, a *korlátlan fokozódó növekedés* képességét általánosította: minden élőlényféleség exponenciálisan lenne hajlandó szaporodni (az együtt élő népesség gyarapodása arányos a mindenkori létszámmal). Ennek ellenére a *természetes népességekben* minden állat és növény *nagyjából azonos létszámban* marad, mivel nincsen elég hely a felnövekvő új nemzedék számára. Tehát logikusan következik az, amit Malthus is megállapított: 5. az *életbenmaradásért küzdelem folyik az egyedek között*. (Malthus koncepcióját valószínűleg saját felfogása kiegészítő igazolásának

tartotta, mint arról az önéletrajzában be is számolt. Az élő természetben a létért folytatott küzdelem elképzelésének gyökere inkább a liberalizmus társadalmi ideáiba nyúlik: a polgárság érdeke a szabad, korlátozatlan konkurenciaharc; ez lenne a társadalmi haladás alapvető hajtóereje, a polgári humanizmus gyakorlati megvalósítása. A létért folytatott „harc” metaforája nagyon sok zavart okozott, de a „természetes szelekció” mint az evolúció mechanizmusa túlélte ez elmélet tesztelési idejét.) Mivel pedig az együtt élő népegekben az egyedek között örökletes különbségek vannak (3. felismerés), akkor az életben maradásért folyó küzdelemmel kombinálva az következik szükségszerűen, hogy 6. az *egyes változatok túlélési és szaporodási valószínűsége nem azonos*. A változatok között tehát a környezeti feltételek *válogatnak* – mégpedig a változat létrejötte *után*, a működésével kölcsönhatásba lépve. Ez az utólagos válogatás a *természetes szelekció*. (Az alkalmatlanok elpusztulása, a valamiféle szelekció gondolata nem volt új, hiszen már az ókor óta – Empedoklész, Anaxagorasz, Lucretius – sokan és újra fel-felvetették, pl. Diderot, Maupertuis.) Darwin viszont azt ismerte fel, hogy a változékonysággal együtt a *rátermettebb, a környezeti viszonyoknak jobban megfelelő* változatok fognak jobban szaporodni – tehát hogy a természetes kiválasztódás nemcsak megőrző és pusztító, hanem a variabilitással együtt *teremtő, alakító erő*. A természet tehát ugyanúgy szelektál, mint a növény- és állatnemesítők a házasításakor teszik. (Ebbéli hitében csak megerősítette Lyell aktualizmusa: ha ma így csináljuk, a természet is képes rá!) 7. A változékonyság és a természetes szelekció együttesen hosszú távon az *alkalmazkodáshoz, évezredek és évmilliók során pedig a fajok átalakulásához, fajképződéshez, illetve a fajok kihalásához vezet*. Ez tehát a földi élővilág kibontakozásának (az „evolúció”-nak) a motorja. (Ide ért a gondolataival 1838 novemberében és decemberében.)

1839-ben Darwin geológiai vizsgálatokat folytatott, és kiadta útirajzát a hajónaplója alapján *Egy természettudós utazásai* címmel. (Ebből kihagy minden kényes részt.) Az apai vagyon és a saját tudományos munkáinak hozadéka lehetővé tették a számára, hogy fizetett állás és főiskolai oktatási tevékenység nélkül is egész életében mint magántudós dolgozhasson. Ugyanebben az évben feleségül vette unokanővérét, Emma Wedgwoodot, aki Darwin számára bölcs tanácsadó, derűs vigasztaló, jó anya és megértő jóságú ember volt; bár a tudományos munkáiban közvetlenül nem vett részt, nélkülözhetetlen támasza volt. A házasságukból tíz gyermek született, akik közül három még gyermekkorban meghalt. Darwin Francis nevű fia azzal szolgálta apját, hogy leveleit és önéletrajzát kiadta (először 1887-ben).

Darwin nyilvános tevékenységét kezdetben mindenekelőtt a geológiai kérdésekkel való foglalkozás határozta meg. 1838-tól 1841-ig a Geológiai Társaság titkára volt. 1840-ben tanulmányokat folytatott a fajok átalakulásának problémájáról. 1841-ben lezárta a *korallzátonyok keletkezéséről* és a madarokról szóló munkáit. 1842-ben jelent meg a *korallzátonyokról* írt műve (*The structure and distribution of coral reefs*) a süllyedési elmélettel, ami figyelemre méltó tekintélyt szerzett neki. (A benne leírtakat az 1940-es évektől kezdve igazolják.) Ezt követően kezdte koncentrálni tevékenységét az evolúció problémájára. Tapasztalatilag nem kielégítően bizonyított elméleti következtetést fogalmazott meg. Újra és újra elégedetlen volt az általa gyűjtött bizonyítékok átfogó képességével; ezért vett igénybe a *szelekciós elméletének* kidolgozása több mint húsz évet.

1842-ben Darwin megírta az első, 35 oldalas fogalmazványt a fajok keletkezéséről. (Egy lépcsőházi faliszekrénybe dugta.) A saját önéletrajzában említi, hogy ekkor még átsiklott a döntő pont fölött: az egy és ugyanazon törzsből származó szerves lényekben bennük rejlik az a hajlandóság, hogy jellegzetességeikben a további módosulások során el fognak térni egymástól (divergencia), és hogy a módosult utódokban megvan az a hajlam, hogy a természet háztartásában

található sokféle és nagy fokban különböző fajtájú helyekhez alkalmazkodni tudnak. Éppen a következő időkben nyert eme ismeretek által szakított a darwini elmélet a XVIII. században elterjedt elképzeléssel, hogy a szelekció az élő természetben harmonizálódáshoz vezet, miközben minden eltérés hamarosan kiirtódik.

1843-tól magántudós a saját downi házában, ahol speciális zoológiai, geológiai, 1865-től már botanikai munkákkal foglalkozott.

1844 januárjában a botanikus Joseph D. Hookernek (1817–1911) írt levelében így fakadt ki:

„Végre felvillant a fény, és csaknem meggyőződtem (teljes ellentétben a korábban vallott nézetemmel), hogy a fajok (ez hasonlít egy gyilkosság bevallására) nem változatlanok ... Az ég óvjon meg engem a lamarcki 'fejlődési hajlam' esztelenségétől, az 'állatok lassan ható akarata következtébeni alkalmazkodástól'. De a végkövetkeztetések, amelyekre jutottam, az övéitől mégsem nagyon különbözök, jóllehet a módosulás eszközei egészen azok.”

1844-ben írta meg *Essays* című 230 oldalas művét a fajok képződéséről. (Gondolatmenete és kifejezései már hasonlítanak a majdani fő műre. Ezt sem küldi el kiadóhoz. Feleségének meghagyja, hogy esetleges halála esetén tegye közzé a kéziratot, kijelölte a kiadót, és gondoskodott a kiadás költségeiről is. Július 5-i végrendeletében kifejezi azt a reményét, hogy a fajok átalakulására és a fajképződésre vonatkozó elméletét idővel még egy illetékes szakember fogja megerősíteni.)

Ugyanebben az évben név nélkül megjelenik Robert Chambers (1802–1883) *Vestiges of the natural history of creation* (A teremtés történetének nyomai) című munkája. (Chambers mással íratta át a kéziratát, elküldte egyik barátjának Manchesterbe, hogy az továbbítsa egy londoni kiadónak.) Ebben elvetette a fajok teremtésének gondolatát, de a fejlődést előre kitervezett és Istentől irányított folyamatnak tartotta. Foglalkozott a fajok földrajzi elterjedésének kérdésével. A feltevése szerint az élet a Földön több elkülönült ponton keletkezett. A magasabb rendszertani egységekbe tartozó csoportok elterjedését éghajlati tényezők szabják meg, a fajok keletkezését pedig kicsiny és érzékelhetetlen hatások idézik elő. A fejlődés üteme szárazföldenként eltérő, pl. Ausztráliában volt a leglassúbb. (A könyv nagy sikert arat, aztán igen heves támadások következnek.)

1844 és 1862 között Darwin a *kacslábú rákokkal* foglalkozott.

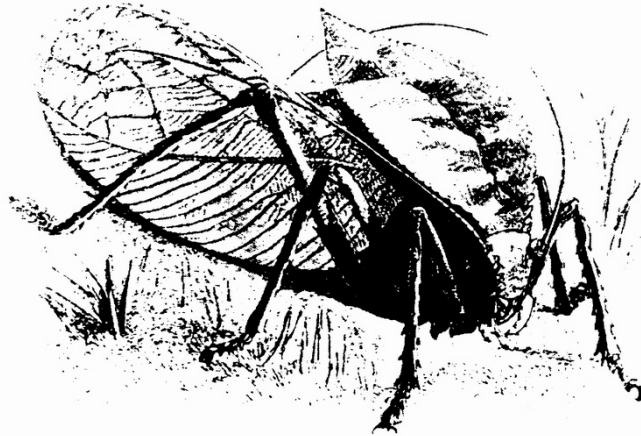
1856 májusában fogott hozzá a *természetes kiválasztódásról* szóló könyve megírásához (de nem fejezte be).

Alfred Russell Wallace (1823–1913) angol utazó, felfedező természettudós, biológus, biogeográfus és evolúciókutató volt. 1837-től a londoni Hall of Science-ben többek között Richard Owen előadásait hallgatta. Botanikai magántanulmányok mellett William testvérével geodéziai munkákat végzett. 1844–45-ben tanár a leicesteri Collegiate Schoolban. 1845-ben bátyja halála után átvette annak földmérő hivatalát. 1847-ben megismerkedett Henry Bates-szel, akivel 1848-ban Dél-Amerikába utazott. Ott az Amazonas medencéjét tanulmányozta, mégpedig többek között azért, hogy Chambers fajváltozási evolúciós hipotézisét ellenőrizze. A visszafelé úton 1852-ben hajótörést szenvedett, és a gyűjteménye elveszett. 1853-ban mégis közzétette megfigyeléseit *a szervezetek elterjedéséről*; ezekből arra következtetett, hogy *a fajok fejlődnek*. Látta, hogy a magasabb rendszertani egységeknek (család, rend, osztály) nagyobb a földrajzi elterjedtsége, mint a családon belüli nemeké vagy a nemekbe tartozó fajoké. *Ugyanazon a területen* egymással

szoros rokonságban levő fajok élnek, tehát a fajok rokonsága és elterjedése valamiféle összefüggésben vannak egymással. Ennek legegyszerűbb magyarázata lehet, hogy feltesszük: *a fajok fejlődnek*. Ő is olvasta Malthus munkáját, tehát a *természetes szelekció* gondolata könnyen kialakulhatott benne is. Mivel a csoportok időbeli elterjedése is meghatározott – ahogy Pictet négykötetes *Bevezetés az őslénytanba* című munkájából megtudta –, ezért ugyanaz a faj két, egymástól elkülönített földtörténeti időszakban nem léphet fel –, tehát nincs kataklizma és nincs újrateheremtés.

1854-ben Wallace a maláj szigetvilágba hajózott. Az 1862-ig tartó itteni új felfedezései megváltoztatták a világszemléletét. 1856-ban lépett először Bali szigetére. Tudta, hogy a szigetvilág mindegyik tagján élnek *makákók*. Ezek a *majmok* az orientális régió állatvilágához tartoznak. Egy ritkábban látható majomfaj, az erdőben élő ún. *Szunda-langur*, Lomboktól keletre nem található meg. Wallace sejteni kezdte, hogy az *állatok elterjedését földrajzi viszonyok* határozzák meg. A *madarak* elterjedése csak megerősítette ezt az elképzelését. Bali szigetén többek között *jégmadarakat*, Lombok szigetén meg *mézelő madarakat* vizsgált. Minden Balin élő madárfaj ázsiai eredetű. Az óvilágban mindenfelé megtalálható pl. a *jégmadár* és a *nagy fakopáncs*. A *fehértettyes bajszika* igen elterjedt Délkelet-Ázsiában, azonban Balitól keletre már nem lelhető fel. A *balin meinó* sehol másutt nem él a világon, csak Bali szigetén. A következő útja Lombokra, a Balitól mindössze 30 km-re keletre fekvő szigetre vezetett. Itt nem talált a Balin élőkhöz hasonló vagy velük rokon fajokat, az Ausztráliában élőkhöz hasonlóakat azonban igen. Ezek közé tartozik a *mézelő madár*, amely soha nem élt Ázsiában. A *sisakos mézmadár* és a *tükrös hernyókapó* szintén ausztráliai eredetű; Lomboktól nyugatra egyikük sem található meg. A *sárgabóbitás kakadu* is Ausztráliában őshonos; Lombokon él, de Balin nem. A megfigyelései alapján Wallace úgy vélte, hogy Lombok szigete egykor az Ausztráliához tartozó szigetvilág része volt, és nem volt köze Ázsiához. (Megfigyeléseire a természettudomány csak jóval Wallace halála után adott magyarázatot. Balit és Lombokot ui. egy keskeny, de igen mély tengerszoros választja el. Amikor a Pangea részekre szakadt, először az ausztráliai kontinens és a szigetvilága szakadt el róla az *erszényesek* kialakulása idején. A *méhlepényes emlősök* másutt való elterjedésének idejében a földkéreg lemezei ismét közeledtek egymáshoz. Délkelet-Ázsia csúcsa Bali, az ausztráliai lemez csúcsa pedig Lombok; a kettő között húzódik az ún. *Wallace-vonal*.) Indonéziai barangolását Borneó szigetén kezdte. Itt találkozott a csak itt és Szumátrán honos *orangutánokkal*. A borneói *orangutánok* a jégmadarakhoz hasonlóan az orientális régió faunájához tartoznak. Megfigyelte, hogy az orangutánok viselkedése emlékeztet az emberére. Azt is felfedezte, hogy mennyire hasonlít a fiatal orangután az emberhez. Rájött, hogy a borneói és a szumátrai *gibbon* alfajok különböznek egymástól. Mindezek alapján kezdte kétségbe vonni a teremtés elképzelését. A fosszilis és a ma élő állatok összehasonlítása alapján arra a következtetésre jutott, hogy a ma élő állatok az ősi megjelenési formájukból *állandó átalakulások* során alakultak ki. Eszébe ötlött, hogy hátha az *ember* is hasonló folyamaton ment át; hátha valamikor a távoli múltban volt valamilyen kapcsolat az emberszabású majmok és az ember között. Alig 30 km-rel odébb, Lombok szigetén a fákon a *kuszkuszok* foglalják el a főemlősök helyét. Ők a mézelő madarakhoz hasonlóan az ausztráliai-óceáni fauna tagjai. Borneóról Celebeszre hajózott. Ez a sziget az ausztráliai-óceáni régióhoz tartozik; itt találta meg az ausztráliai-óceáni fauna legészakibb képviselőit. A fossziliák tanúsága szerint a *kuszkuszok* Új-Guineában alakulhattak ki; tehát az is Ausztráliával együtt szakadhatott le a Pangeáról. A Wallace-vonal rossz oldalára került egy másik főemlős is, a *sulawesi koboldmaki*, amely egy ősi félmajom; néhány őse a Wallace-vonal túlsó oldalán maradt, és azok fejlődése a *főemlősök* többi tagjával való versengés következtében másképpen ment végbe.

A páviánokra emelkedtető *celebeszi makákó* csupán Celebeszen él elszigetelten. (Más makákók alakultak át páviánokká Afrikában mintegy 2 millió évvel ezelőtt.) Az egyik ősök kerülhetett valahogyan Celebeszre, és régen itt él, mert nagyon ősi jellegű. Wallace Celebeszen látta a *babirusza sertést* is. Felismerte, hogy a kanok agyarára a párzási viadalokban van szükség. Kiderítette, hogy Celebesznél keletebbre nem élnek *szarvascsőrű madarak*, jóllehet nyugat felé egészen Afrikáig honosak. Látható tehát, hogy nagyon sokat foglalkozott az állatok elterjedésével. 1857-ben Wallace Új-Guineától mintegy 200 km-nyire Aru szigetén megbetegedett: a malária ágyhoz kötötte, a lábai megdagadtak. Lábadozása során kezdte összefoglalni addig megfigyeléseinek eredményét.



A nagypajzsú szöcske mint az alkalmazkodás csodálatos példája Wallace The Malay Archipelago című művéből

Szerinte a vadállatok valamilyen módon különféle változatokat hoznak létre. Ha bizonyos változások a faj életterében mennek végbe, akkor a kevésbé alkalmazkodó változat korábban kipusztul, az alkalmazkodóbb pedig megmarad. (Látható, hogy ez az elképzelés nagyon hasonlít Charles Darwinnak a természetes kiválogatódás útján létrejövő evolúciós elgondolásához.)

1858. június 18-án Wallace, a mérnökből lett botanikus és biogeográfus, a Molukki-szigetéről elküldte kis munkáját – *On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type* címmel – Darwinnak Londonba. Ebben megírta Darwinnak, hogy arra a feltevésre jutott, hogy az új fajok természetes kiválasztódással keletkeznek. A munka elolvasán Darwin megdöbben: Wallace is az övéhez kísértetiesen hasonló gondolatokra jutott az evolúciós átalakulás lényegét illetően. (A. R. Wallace feltehetően 1842-ben olvasta Darwin útirajzát, 1845-ben Chambers könyvét, 1846-ban Lyell földtani alapművét.) Ezért Darwin úgy döntött, hogy a felfedezés dicsőségében osztozni fog: a saját, 1844-es munkája alapján írt rövid tanulmányával együtt hozza nyilvánosságra Wallace munkáját. 1858. július 1-jén Hooker és Lyell együtt mutatja be Darwin, illetve Wallace tanulmányát a Linné Társulat ülésén (Wallace Délkelet-Ázsiában volt, Darwin pedig egyik újszülött gyermekét veszítette el vörhenyben).

1858. július 20-án Darwin végre hozzáfogott fő művének megírásához. 1859. március 12-én befejezte fő művének utolsó fejezetét. November 24-én megjelent a könyv: *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life* (A fajok eredetéről a természetes kiválogatódás útján, vagy az előnyben levő fajok megőrződése a létért folytatott küzdelemben) címmel. Az első kiadás 1250 példányra a kiadás napján elkelt; 1860 januárjában már követte a második kiadás. Példátlan könyvsiker volt.)

A fajok eredete című munka két fő részből áll: az első a malthusi elveket alkalmazta általában az állat- és a növényvilágra, és megmutatta, hogy a létért folytatott küzdelem a fajok ismert variációival kombinálva evolúciót okozhat. A második rész alapos kritikai áttekintés az evolúció bizonyítékairól a biogeográfiából, a megkövesedett leletekből és a rendszertanokból. Az abban előadott természetes szelekciós elméletet feltevésekben és következtetésekben lehet összefoglalni. Az *előfeltételezések*: *I.* Egy fajban csak néhány egyed azonos minden mérhető változóban; az egyedek minden jellegükben változatokat mutatnak. *II.* Minden szervezetnek hajlama van a túlszaporodásra a számukra hozzáférhető források (pl. táplálék, víz stb.) korlátozottsága ellenére: az élőlények mindig több utódot hoznak létre, mint amennyi szükséges a szülők helyettesítésére, illetve amennyi a szaporodáshoz végül is eljut. *III.* Egy faj (pontosabban a lokális populációi) egyedeinek száma végtelenül nem növekedhet; hosszabb időintervallumon belül átlagosan nagyjából állandó. Magas tehát a halálzási ráta. Mindebből az alábbi *következtetések* vonhatók le: *1.* Az I. előfeltevés szükségszerűen vezet a „létért folytatott harc”-hoz (vagyis az egyedek közötti kompetícióhoz). Ez a létért folytatott küzdelem valószínűleg intenzívebb ugyanazon faj egyedei között, mivel a szükségleteik a leginkább hasonlóak. Egyes változatok a létért folytatott küzdelemben nagyobb valószínűséggel maradnak életben, mint mások, és eljutnak a szaporodáshoz (létezik tehát differenciális életben maradás az egyes egyedek között). Az utódaik nagyobb számban maradnak meg, mint másokéi (vagyis létezik differenciális szaporodási képesség is az egyedek között). Az egyes változatok tehát *természetes módon kiválogatódnak*, mivel a létért folytatott küzdelemben előnyösebb helyzetbe jutnak. *2.* A legjobban alkalmazkodott változatok maradnak életben és szaporodnak jobban. *3.* Azok a jellegváltozatok, amelyek a létért folytatott küzdelemben szerepet játszanak, öröklődők. *4.* Mivel a környezeti feltételek hosszú időintervallumon át változnak, a természetes kiválogatódás miatt az egymást követő nemzedékekben tendenciaszerűen új, megváltozott formák tűnnek föl, amelyek végül is új fajt hoznak létre. A nemzedékek során egyre csökkenő reprezentációjú változatok pedig kihalnak. Úgy gondolta, hogy az *evolúció irányítója* és fő oka a természetes szelekció. Felismerte, hogy a környezetéhez speciálisabban alkalmazkodott változat több utódot hagyhat hátra, mint az átlagosabb alkalmazkodottságú, és ezért a nemzedékek során előtérbe kerülhet. Ha azonban a környezet megváltozik, akkor egy másik variáns lehet a kedvezményezett.

„A fajok eredetét”-ben Darwin a szerves létezők „létért folytatott küzdelmének” fogalmát a mértani sor szerinti szaporodás elkerülhetetlen következményeként értékelte, amint Malthus tanát az egész növény- és állatvilágra alkalmazta.

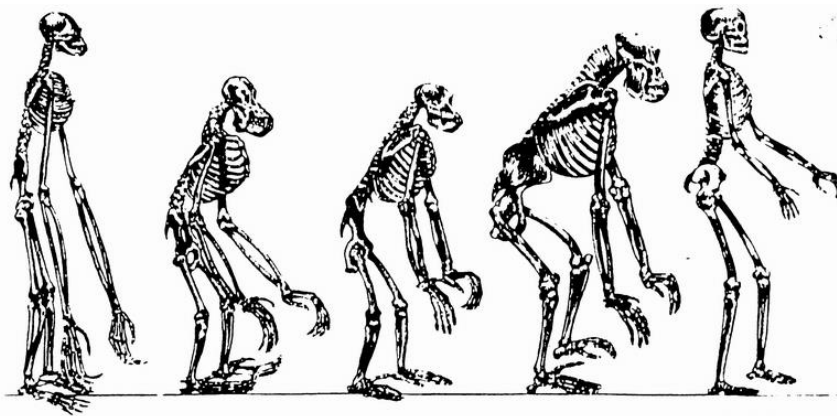
Elmélete szerint a szervek a már meglévő módosulásával változnak, és a változásban minden egyes lépésnek *előnyösnek* kell lennie a hordozója számára. Ezért akármilyen bonyolult *alkalmazkodás* esetén is létezniük kell *közbeeső állapotoknak* (vagy „összekötő láncszemek”-nek), amelyeken át az kifejlődött. Erős bizonyíték volt az ilyen módosulásra, ha a különféle létező struktúrák folyamatos sorozatba rendezhetők egy-egy szerv fokozatos fejlődését mutatva. Darwin ezt a megközelítést már korábban elfogadta a kacsakagylókról írt tanulmányában (1851–54). A fő művében más evolúciós sorozatokat is figyelembe vett (pl. a denevérek szárnyának kialakulását).

A természetes kiválogatódás elméletének kidolgozása a vallásos hittel való konfrontációhoz is vezette Darwint. Az evolúciós elméletén végzett munkája kezdete óta Darwin elpártolt a kreacionizmustól, a fajok változhatatlanságának tanától, az élőlények ősi célszerűségének és teljes sokféleségének egykori teremtési aktussal való létrejötté elgondolásától.

„Jóllehet én életem eléggé késői periódusát megelőzően nem sokat foglalkoztam egy személyes isten létezésével, itt most meg akarom osztani azon legáltalánosabb végkövetkeztetéseket, amikre jutottam. A természetben levő célszerűség régi érve, ahogy azt Paley elképzelte, és ami számomra korábban olyan döntőnek tűnt, most balul üt ki, miután a természetes kiválasztódás törvénye felfedeztetett. Többé már nem gondolhatunk arra, hogy egy kéthéjas kagyló csodálatosan szép zárját egy intelligens lény építette volna, ahogy egy ajtó zárját egy ember ... A természetben minden szilárdan álló törvények eredménye.”

Ezzel Darwin a teleológia ellen is szólt, akár az életben benne rejlő (immanens) teleológia, akár egy teremtő által kívülről beléplántált (transzcendens) végső célszerűség ellen.

1860. június 30-án Oxfordban a Brit Tudósok Szövetsége nyilvános ülésen vitatta meg Darwin elméletét. Az ülésen Oxford püspöke, Samuel Wilberforce, élesen és otrombán megtámadta Thomas Henry Huxleyt – aki messzire ment, mert össze merte hasonlítani az ember agyát a majoméval. Henslow kitűnő vezetése ellenére a botrány elkerülhetetlen volt, mert Huxley szellemesen visszavágott. A vicclapok túhegyre szúrták Darwint, aki majomemberként mászik vissza a fára.



T. H. Huxley: Man's place in the Nature című munkája az emberszabású majmok és az ember csontvázáról

1862-ben Darwin publikálta négykötetes munkáját a kacslábú rákokról. (Ezért a Royal Society Copley-érmét kapta.)

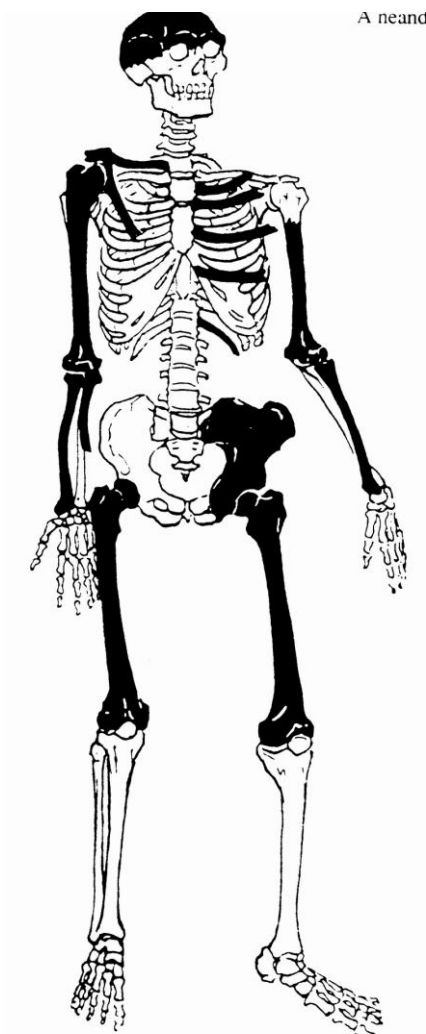
1862-ben William Thomson (vagy báró Kelvin, 1824–1907), a klasszikus termodinamika megteremtője, először becsülte meg a Föld kihűlése alapján „meggyőzően” a Föld korát. Kísérletei, és főleg matematikai számításai, alapján a Föld 20, de legfőleg 40 millió éves. Így ez az idő nem lehetett elég a Darwin elgondolta evolúció kibontakozásához. Ebből vont le azt a következtetését, hogy az egész darwini elmélet hamis. (Thomson „becslése” azon a téves feltevésen alapult, hogy a Nap üzemanyagként szenet éget, és nem vehette figyelembe a természetes radioaktivitás hőjét sem. Darwin csak a földtörténeti újkor időtartamát 300 millió évesre becsülte, holott az valójában 67 millió év.)

Ugyanezen évben Herbert Spencer (1820–1903) angol filozófus megjelenteti *First principles* (Első alapelvek) című filozófiai munkáját. Ebben a saját és Darwin alapvető törvényét: az *evolúció* (a fokozatos fejlődés) gondolatát alkalmazta a biológiára, a pszichológiára, a szociológiára és más tudományterületekre. A biológiáról írva az élet fejlődését a legalacsonyabb felismerhető formáktól az emberig követte nyomon. Úgy vélte, hogy a természet nagy törvénye az erők állandó

kölcsönhatása, ami minden formát az egyszerűtől a bonyolult felé, a homogénből a heterogén irányába változtat meg. Így magyarázta az ember elméjének kialakulását is, mint ami az alacsonyabb szerveződésű állatok egyszerű automatikus válaszaiból fejlődött ki egészen a gondolkodás nem automatikus folyamataiig. Szerinte *kétféle tudás* létezik: 1. az egyed által szerzett ismeretek rendszere és 2. a faj által nyert ismeretek. Az *intuíció* vagy a tudattalanul tanultak az öröklött tudás, a faj tapasztalatainak eredménye. Úgy hitte, hogy a tudásunkon túl létezik az alapvető és végleges valóság, amit ő „Megismerhetetlen”-nek nevezett.

1865-ben Fleeming Jenkin (1833–1885) angol mérnök arra mutatott rá, hogy a létért folytatott küzdelem eredménytelen, ha csak egy-egy egyednek jelennek meg a kedvező tulajdonságok. Ugyanis hiába az előnyös jelleg, ha átlagos egyeddel fog párosodni; az utódokban egyre hígulnak a kedvező sajátosságok, és végül is minden tulajdonság elmosódik. Az új csak akkor maradhatna tartós, ha nem egy egyedre, hanem egy egész csoportra jellemző lenne. De ekkor meg fel kell adni a természetes szelekció elvét, különösen pedig a lassú, apró változásokon alapuló evolúciós elméletet. (A Jenkin által felvetettek sok gondot okoztak Darwinnak, de megoldásra nem jutott.

Ehhez ui. ismernie kellett volna az öröklődés alapjait, a génátvitel szabályszerűségeit – amiket éppen ebben az évben közölt Johann Gregor Mendel.)



A neander-völgyi lelet megtalált csontjai

A fő művében Darwin az elméletének az emberré válásra vonatkozó következményeit csak bizonytalanul sejtette. Arra azért rámutatott, hogy nincsen éles határvonal az ember és az egyszerűbb állatok evolúciója között. Darwinnak az élővilág evolúciójára vonatkozó elképzelését az emberre csak fenntartásokkal alkalmazták (és alkalmazzák sokan ma is). 1859 és 1900 között azonban kitágult az (emberi) evolúció időtartománya: a főemlősök elrendeződése továbbra is egyenes vonalú, lépcsős lánc maradt, de messze visszafelé terjedt a földtörténeti múltba. A *neander-völgyi ősembermaradványok felfedezése* (1856-ban, tehát 3 évvel Darwin fő munkájának megjelenése előtt, 24 évvel Cuviernek a „fosszilis ember nem létezik” állítása után) és az őslénytani leletek egyre jobban megingatták azt a régi – vallásos gyökerű – hitet, hogy a világ csak 6000 éves. Az egyre primitívebb formák állandó kutatása közben 1891–92-ban Eugene Dubois felfedezte a jávai előembert, ami hirtelen messzire a régmúltba tolt (mintegy félmillió évvel előbbre) az ember evolúcióját.

A közös ősből kis lépésekben történő módosulás megmagyarázza a *homológiát* is. Ezt az elvet fejlesztette tovább elragadó kis könyvében az *orchideák virágainak kialakulásáról* (1862). Ebben kimutatta, hogy az orchideák bonyolult reproduktív szervei semmi mások, mint más virágokkal közös struktúrák módosult formái. Nincsen tehát szerkezeti „terv”, így nincs szükség „tervezőre” sem. Darwin helyesen érvelt azzal, hogy a „tervezőnek” előnytelenül szegényes fantáziája kellett legyen, ha csak úgy tudott teremteni új szerveket, hogy átszabta a régit.

Ernst Haeckel német természettudós, összehasonlító anatómus, a darwini evolúciós elmélet nagy propagátora, 1834-ben született; tehát 25 éves volt és az orvosi tanulmányait éppen befejezte, amikor Darwin megjelentette fő művét, *A fajok eredetét* (1859). Haeckel a fiatal éveit Merseburgban töltötte; itt egy magántanár vezette be a természet megfigyelésébe és a rendszerezésbe. Már kisiskolásként felfigyelt Ch. Darwin „Egy természettudós utazása a Föld körül” című munkájára. Matthias Schleiden népszerűsítő tudományos könyve, a *Die Pflanze und ihr Leben* (1848), azt a kívánságot keltette föl benne, hogy Schleiden mellett Jénában növénytant tanuljon. De apja kívánságára orvostudományt tanult 1852-től 1858-ig Berlinben, Würzburgban és Bécsben, bár nem érzett orvosi elhivatottságot. Berlinben Johannes Müller volt a fiziológia tanára, Würzburgban Albert Kölliker mellett dolgozott, és Rudolf Virchow antivitalista nézetei gyakoroltak rá mértékadó befolyást. 1856-ban Virchow a fiatal Haeckelt asszisztensének fogadta az intézetébe. Berlini és würzburgi éve alatt először vizsgálhatta a *tengeri faunát*. 1854-ben elkísérte Johannes Müllert a helgolandi, 1856-ban pedig A. Köllikert nizzai kutatóútjára. 1857-ben írta disszertációját „A folyami rák szöveteiről”, amivel orvosi oklevelet szerzett. 1858 márciusában Berlinben tette le az orvosi államvizsgát. Johannes Müller halála (1858) után Haeckel hamarosan elhagyta Berlint. 1858 nyarán találkozott a már 1853-ból, a würzburgi időkből ismert Carl Gegenbaurral (aki 1855 óta a zoológia rendkívüli professzora volt a jénai egyetemen). A találkozás Haeckel számára egyetemi állással kecsegtetett, és már a professzúra is kilátásban volt, mihelyt habilitál. 1859 januárjában itáliai tanulmányútra ment Gegenbaurral megegyezve; innen 1860 tavaszán tért vissza, több mint száz újonnan felfedezett *Radiolaria*-fajjal. Azonnal hozzákezdett a *Radiolariákról* szóló monográfia kidolgozásához. Ezen idő alatt olvasta Charles Darwin munkáját a fajok eredetéről (az első német fordítást H. G. Bronn paleontológus készítette). Az evolúciós elméletet azonnal megpróbálta értékesíteni a Radiolaria-monográfiában. Így Darwin különböző típusos Radiolaria-csoportjait a meglevő köztes formákkal a *rokonsági viszonyok* rendszerévé kapcsolta össze, amit egy egyszerű rácsos gömbre, a Radiolariák ősi formájára vezetett vissza. 1861 márciusában a Rhizopodák rendjei és határai témából habilitált, és C. Gegenbaur támogatásával magántanári képesítést kapott. Ezzel megkezdte oktatási

tevékenységét a jénai egyetemen. Egy évvel később rendkívüli professzornak hívták összehasonlító anatómiából, és ezenkívül feladata lett a Zoológiai Múzeum vezetése is. Az előadásában teljes erővel népszerűsítette a darwini evolúciós tant.

Eközben hamar túl is lépte Darwint: az evolúcióról szóló elgondolásaiba bekapcsolta az *élet keletkezését* és az *emberre válást* is. Hirdette az *ember* állati elődöktől való származását. A darwini evolúciós elmélet hatására leszármazási *törzsfákat* konstruált, amelyek az *egysejtűekkel* kezdődtek és az *emberhez* vezettek.

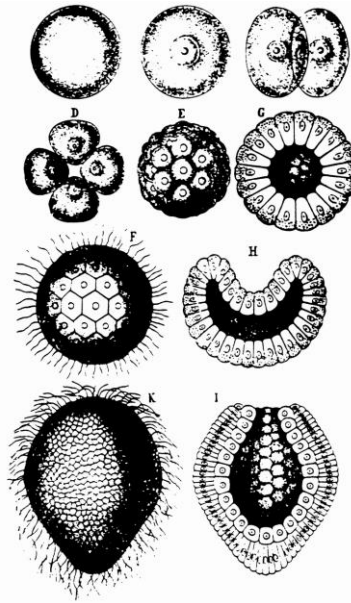
1863 szeptemberében a Német Természetkutatók és Orvosok 38. gyűlésén előadásában először tette közkincsé a nézeteit. Az egyház azonnal tiltakozott, számos szaktársa is elutasította. 1865-ben kinevezték a jénai egyetem rendes zoológus-professzorává a bölcsészkaron és ugyanakkor a Zoológiai Múzeum igazgatójává. (A zoológia ezáltal itt is önálló tudományággá vált, többé nem volt az orvoslásnak alárendelve.)

Ebben az időben kezdett foglalkozni a darwini evolúciós elmélet részletes kidolgozásával. Az eredményt 1866-ban publikálta *Generelle Morphologie der Organismen* című 2 kötetes művében. Az első kötetben bemutatta a szervezetek anatómiáját, a második kötetben az általános fejlődéstörténettel foglalkozott. Itt egy törzsfa-elképzelésből indult ki, és megpróbálta az élet fejlődésének lehetséges útjait felvázolni, miközben a *fehérjéknek* alapvető funkciót tulajdonított. Közben tengerzoológiai kutatóutat tett a Kanári-szigeteken (1866–67). Az a megfigyelés, hogy a magasabban fejlett fajok embriói a fejlődésük során olyan stádiumokon haladnak át, amelyek az alacsonyabb formákénak felelnek meg, az egyed- és a törzsfejlődés viszonyának hangsúlyozására vezette.

1866 októberében Haeckel Angliába utazott, ahol összetalálkozott Charles Lyell-lal, T. H. Huxley-val és Charles Darwinnal. További levelezésükben szó esett a *Generelle Morphologie* angol nyelvű kiadásáról, ami azonban nem valósult meg (ennek oka részben az az éles polemikus stílus, ami Huxley és Darwin érzékenységének nem egészen felelt meg). A Darwinnál tett látogatását követően a darwinizmus leglelkesebb hívévé vált, és ekkor Haeckel már arra törekedett, hogy a darwinizmust minden ember számára megismertesse. Az 1867/68-as szemeszter Darwin-előadásai 1868-ban meg is jelentek *Natürliche Schöpfungsgeschichte* címmel. Közben 1869-ben Norvégiában tett tanulmányutat. Számos különféle *gerinctelen* állatfaj (többek között a *mészszivacsok*) tanulmányozása olyan következtetésre vezette, amiben ma is hisznek a biológusok. Az *embrionális fejlődés* kezdeti stádiumát, a még nem differenciált sejtek halmazát elnevezte *szedercsírának* (morula), ami a *hólyagcsírába* (blasztula) megy át, és végül *bélcsírává* (gasztrula) alakul. Számos különféle állati forma elemzése során mindig újra beleütközött a *bélcsíra* állapotba. Ebből azt következtette, hogy a gasztrula nemcsak fontos, általánosan fellépő kiindulási forma a többsejtűek egyedfejlődésében, hanem ez a képződmény – a „biogenetikai alaptörvény”-nek megfelelően – a *többsejtűek* (Metazoa) törzsfejlődési alapja is. A már régen kihalt ilyen törzsformát a *Jenaer Zeitschrift für Naturwissenschaften* 8. számában „*Gastraea*”-nak nevezte el (1874), aminek megkövesedett maradványai hiányoznak. 1873-ban a Vörös-tengeren tett tengerbiológiai kutatóutat.

1868-ban megjelent Ernst Haeckel német természettudós, filozófus *Natürliche Schöpfungsgeschichte* (Természetes teremtéstörténet) című könyve. Ebben kifejti, hogy meggyőződése szerint a darwini elgondolások nemcsak *az élővilág leszármazására*, de a világ valamennyi jelenségére is *magyarázatot adhatnak*.

Darwin 1869-ben azt írta Hookernek, hogy „meggyőződése, hogy a világnak sokkal idősebbnek kell lennie, mint Thomson becsüli”. (A kor „egzakt” fizikája azonban ellene dolgozott.)

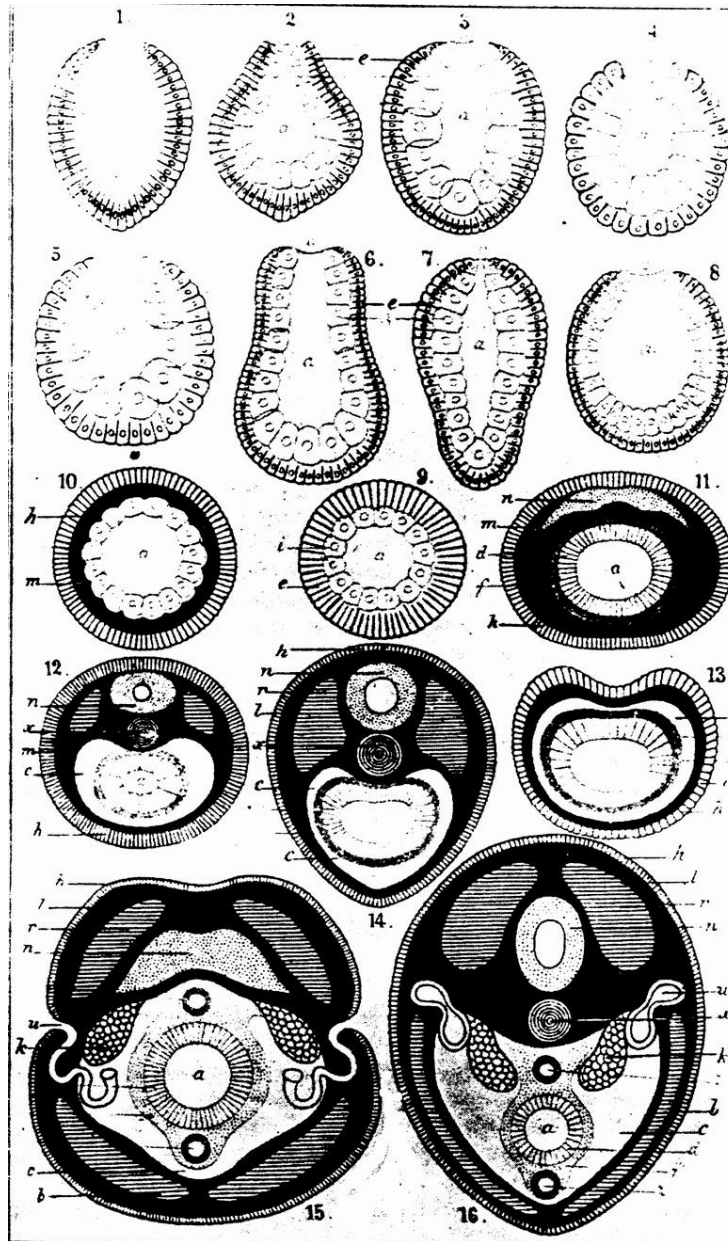


Haeckel Anthropogenie című könyvéből a petesejtek sorozatos megkettőződésével kialakuló szeder-, hólyag- és kehelystádium

Wallace a maláj szigetvilágban tett megfigyeléseit 1869-ben publikálta *The Malay Archipelago: the land of the Orang-Utan and the bird of paradise – a narrative of travel with studies of man and nature* című munkájában. Nagyjából úgy gondolkodott, mint a természetes kiválogatódás elméletét kidolgozó Charles Darwin, mégis minden dicsőség Darwiné lett, Wallace-t pedig majdnem elfelejtették. 1862-től magántudós Angliában. Később a spiritizmushoz fordult. 1881-ben a Land Nationalisation Society elnökévé választják. A broadstone-i templomkertben van eltemetve a felesége mellett.

Konkréten az ember származásával Darwin eddig részleteiben nem foglalkozott. Miután azonban mindenekelőtt Ernst Haeckel és Thomas H. Huxley (1825–1895) nyomtatékosan kijelentették, hogy az ember állati elődökből származik, fogott bele Darwin e kérdés tárgyalásába. 1868-tól dolgozott az *ember származása* témáján. 1871-ben jelentette meg *The descent of man and selection in relation to sex* (Az ember származása és az ivarral kapcsolatos szelekció) című munkáját (amihez már 1838 óta gyűjtötte az adatokat). Ebben kiterjeszti evolúcióelméletét az ember származására is. A mű második része az *ivari szelekcióról* szól (részben a fő művében leírtakkal szembeni ellenvetések elhárítására). Sok faj egyedei elég erős *ivari kétalakúságot* mutatnak. Szerinte az *ivari kétalakúságot* mutató struktúrák és szervezetek valóban nem fejlődhettek ki természetes szelekcióval, mert ebben az esetben egyformán fejlődtek volna mindkét nemben. A szaporítószervek szexuális dimorfizmusa még kialakulhatott természetes szelekcióval – hiszen növelhették a reprodukció hatékonyságát –, de bizonyos ivarian kétalakú szervezetek (pl. a szarvas agancsa vagy a hím páva széttárható tollai) azért alakultak ki, mert az ivari partner megszerzésében, a partnerért folyó versengésben jelentenek előnyt, illetve mert a partnerek ezeket válogatják ki. Ezért az ivari szelekció *kétféle úton* történhet: 1. a hímek közötti versengéssel és/vagy 2. a nőstények választásával és a velük való preferenciális párosodásukkal. A leghatékonyabb fegyverrel rendelkező hím hagyja a legtöbb utódot, tehát a felfegyverzettség nőni fog a populációban. A nőstények választásának köszönhető struktúrák azért részesülnek előnyben, mert az ilyent hordozó hímekkel preferenciálisan párosodnak a nőstények. A választás nem feltétlenül tudatos. A hipotézisére a fő teszt az *összehasonlító módszer* volt: számos különféle

fajt nézett meg ezekre a struktúrákra vonatkozóan, és kimutatta, hogy az ilyen ivari kétalakúsággal rendelkező struktúrák tendenciaszerűen *a bonyolultabb idegrendszerű állatokban* fordulnak elő – hiszen a nőstényeknek finom megkülönböztetésekre kell képesnek lennie. Azt is megállapította, hogy az ivari szelekció hatékonyabban működhet a poligám fajokban, és talán nem is funkcionál a monogámokban, és kimutatta, hogy a szexuális dimorfizmus általánosabb is a poligám fajokban.



Tanulmányok Haeckel Gastraea-elméletéhez

A földi élet kialakulásáról Darwin nem publikálta a nézeteit. A levelezéséből azonban kiderül, hogy a fehérjéből történt abiogén keletkezését és annak további evolúcióját a szervezetek létezésének körülményei között nem tartotta lehetségesnek, mert a már létező élőlények azonnal felfalták volna. Mivel azonban akkor még nem léteztek organizmusok, azért az ilyen természetes fejlődés mégis megtörténhetett.

A korai evolúciós elméletek a *viselkedést* posztulálták olyan hajtóerőnek, ami a fajok átalakulását okozza. Kezdetben Darwin is így gondolhatta (a jegyzetei alapján ítélve). A természetes szelekció működésének felismerése után ezt a gondolatot elvetette. A viselkedésről vallott elképzeléseit négy helyen is kifejtette. *A fajok eredete* egyik fejezete az *ösztönökről* szól (ez valójában egy kivonat egy posztumusz publikált nagyobb értekezésből). Mivel nincsen éles határvonal az állatok és az ember evolúciója között, ezért Darwin sejtette, hogy az állatok *viselkedését* sem csak *ösztönök* irányítják, hanem az emberre jellemző *gondolkodási folyamatok* primitívebb formái is. *Az ember származása* c. művében amellettt érvet, hogy az állatoknak is kell legyen primitív gondolkodásuk. Viszont, mivel az ember is egyszerűbb élőlényekből alakult ki, az emberi viselkedés is függ az ösztönöktől. Az ember és a bonyolultabb idegrendszerű állatok között az elméleti különbség – akármilyen nagy is, de – csak fokozati és nem minőségi. *Az ember származása* (1871) és *The expression of the emotions in man and animals (Az érzelmek kifejezése az emberben és az állatokban; 1872)* című két művével igen jelentős mértékben közreműködött a pszichológiában, kimutatva annak a lehetőségét, hogy nem csak a szerves struktúrák evolúciója létezik, hanem az *elmeműködés evolúciója* is. Az érzelmi kifejezések evolúciójáról írt műve tette lehetővé, hogy a *pszichológia* a filozófiától független diszciplinává és kísérletes tudománnyá váljék. Elméletei inspirálták Lloyd Morgant, Szecsenovot, Pavlovot, Freudot és a funkionalista pszichológusokat.

Bár Haeckel már a *Generelle Morphologie*-ban az *embert* is bevonta az evolúciós fejlődésébe, mégis csak 1874-ben publikálta *Anthropogenie oder Entwicklungsgeschichte des Menschen* (Az ember származása, avagy az ember fejlődéstörténete) című munkáját. Ebben Darwin fejlődéselméletét az emberre is alkalmazta. Az akkor ismert tények halmazát és a belőlük levonható következtetéseket úgy állította az olvasó elé, hogy az *ember és az állatvilág rokonsága, az emberré válás* folyamata megdönthetetlen, természeti szükségszerűségeen alapuló tény. Ismét levezette benne az *ember törzsfáját*, és ekkor írta le a majom és az ember között feltételezett átmeneti lényt, a „*Pithecanthropus*”-t – mint „hiányzó láncszem”-et. A műben éles szavakkal elvetette a vallás emberteremtési dogmáját. Ez a könyve élezte ki leginkább Haeckel és ellenfelei vitáját. A vita csúcspontja 1877-ben volt a Német Természetkutatók és Orvosok 50. gyűlésén. Itt csaptak össze Haeckel és Virchow teljesen ellentétes elképzelései. Virchow nagy befolyása ellenére folyamatosan növekedett Haeckel híveinek száma. Az 50. születésnapján Haeckel már több, mint harminc hazai és külföldi akadémia és természettudományos társaság tagja vagy tiszteleti tagja volt.

Ugyanezen évben Haeckel közzétette cikkét *Die Gastraea-Theorie, die phylogenetische Classification des Thierreichs und die Homologie der Keimblätter* (A Gastraea-elmélet, az állatvilág törzsfejlődési osztályozása és a csíralemezek homológiája) címmel. Ebben fejtette ki azt a nézetét, hogy az állatvilág *törzsfejlődési szerveződése* mutatja az *egyedek csíralemezek szerinti szerveződését*. E gondolattal csatlakozott az onto- és a filogenezis közötti, már 1811-ben Meckel által megsejtett összefüggéshez. Tehát a filogenetikai változások tükröződnek az ontogenezisben – vagyis szerinte az egyedfejlődés nem más, mint a törzsfejlődés gyorsított megismétlése, amit az öröklődés és az alkalmazkodás fiziológiai funkciói írnak elő. Ezt a tételt nevezte el „*biogenetikai alaptörvény*”-nek. Bár később azt állította, hogy az egyedfejlődés lényegesen bonyolultabb lefutású – tehát még ő is elismerte ezt –, de az alaptörvény fontos dolgot mondott ki, új problémákat vetett föl és újabb kutatásokra serkentett. Végérvényesen bebizonyítja az állatvilág polifiletikus eredetét valló nézetek tarthatatlanságát. Leszögezte, hogy a soksejtű állatok valamennyi csoportja a „gastraea-típus”-ra vezethető vissza.

Darwin 1876-tól írta az önéletrajzát. 1877-ben a cambridge-i egyetem tiszteletbeli jogi doktorrá avatta. 1882. április 19-én bekövetkezett halála után a Westminster apátságban temették el.

Arisztotelész mellett talán Darwin volt a legjelentősebb biológiai gondolkodó minden időben. A darwinizmussal a biológia a további fejlődéséhez döntő elméleti alapot kapott, mivel Darwin a nagy mennyiségű és széles körből merített empirikus tényanyagot szigorúan tudományos módon, spekulatív segédkonstrukciók nélkül, logikailag következetesen feldolgozta; a tényekből adódó parancsoló szükségszerűséget kombinálni tudta mély, elvont gondolkodással.

A darwinizmus továbbfejlődéséért és érvényesítéséért folytatott küzdelem – más természettudományos elméletektől eltérően – a materializmus és az idealizmus, a dialektika és a metafizika, a tudomány és a vallás közötti harcokkal volt kapcsolatban. A vitában szó volt a természettudományos, a világnézeti, ismeretelméleti, metodológiai, logikai és etikai állításairól és következtetéseiről. Közben a darwinizmusból hatalmas impulzusok segítették a fejlődéstörténeti rendszertan, az evolúciós morfológia, fiziológia és etológia, az egyedfejlődés, a történeti ökológiai és biogeográfia, a genetika, a mutációkutatás, az élet keletkezése és az emberré válás kutatása, az őslénytan törzsfakutatás, a tenyésztéskutatás kialakulását, sőt még a modern pszichológiai irányzatok kifejlődését is. Másrészt a biológiai tudományok – elsősorban a genetika, az őslénytan és az ökológia – eredményeinek alapján a darwinizmus minden alapvető állításában alátámasztást nyert, a darwini elmélet alapozásában levő hézagokat bezárták, és azt „szintetikus evolúciós elméletként” a XX. században a biológiai tudományok gondolati rendszerébe szilárdan lehorgonyozták.

Az 1881–82-es években Haeckel Ceylon szigetén folytatott tengerbiológiai kutatásokat. Ekkor és ezt követően is számos előadásában követelte, hogy az evolúciós elméletet vezessék be az iskolai oktatásba. Az egyházi és az állami intézmények nagy ellenállása miatt maga próbálta meg az elképzeléseit a néptömegekhez közel vinni. Az evolúciós fejlődéstan és a panteisztikus filozófiája általánosan megérthető bemutatását végezte el *Die Welträtsel* (Világrejtvény) című munkájában (1899). A művet rövid időn belül elkapkodták, és néhány év alatt harmincnál több nyelvre lefordították. A több százezer példány eljutott a tömegekhez. Haeckel ebben és más műveiben is kifejtette filozófiai álláspontját: szilárdan a természettudományos materializmus talaján állt. Olyan egységes alapot keresett minden jelenségre, ami magában a világban található, nem pedig természetfölötti erőkben. Anyagfelfogása nem filozófiai, hanem a mechanikus materializmusból nyert fizikai anyagfogalom volt; ezért az energiát, az érzékenységet, a szellemet nem tudta felfogni. Spinozához húzva a „szubsztanciá”-ban látta a világ egységes alapját. A szubsztancia-törvényben foglalta össze a tömeg- és az energiamegmaradás törvényét. A saját világnézetét „monizmus”-nak nevezte, elvetette a „materializmus” fogalmát, mert az gyakran összekeveredett a nem filozófiai „anyagi javak iránti vágy” fogalmával. A szubsztancia Haeckel szerint az anyag és a szellem egysége, és a természet fejlődése során egyre jobban kibontakozik: az atomoknak és a kristályoknak megfelel az „elemi lélek”, az alacsonyabb szervezetségű *egysejtűeknek* „plasztid lelkük” van, a *növényeknek* „növényi lelkük”, az *állatokban* „állati lélek”-ként, az *ember* fokán pedig „ön- és világtudat”-ként fejlődik ki. Panteisztikus álláspontja azonosította a szubsztanciát vagy a természetet istennel.

1908-ban létrehozta a „Phyletische Museum”-ot, majd 1916-ban a „Phyletische Archiv”-ot. 1909-ben (75 éves korában és Ch. Darwin születésének 100. évfordulóján) abbahagyta az oktatást.

1880-as években Anton Kerner (1831–1898) osztrák botanikus a természetes *fajhibridizációt* tartotta a *változékonyság* okának. Szerinte az új fajok keletkezése is erre vezethető vissza.

1892–93-ban a belga Louis Dollo (1857–1931) a *teknősök* törzsfelődésének vizsgálata nyomán felállította a róla elnevezett *Dollo-törvényt*: az evolúció lényegében megfordíthatatlan folyamat. Visszámutalások és korlátozottan hasonló variációk előfordulhatnak, de azok mindig más szervvel kapcsolatosak az alaki azonosság látszata ellenére is. (Az elvet később sok evolucionista hangsúlyozta).

1898-ban Henry Fairfield Osborn (1857–1935) kifejtette az evolúciós *adaptív radiáció* koncepcióját. Eszerint kiindulva a közös ősi típusból, az evolúciós alkalmazkodásoknak sok különféle útja jöhet létre. Így egy evolúciós szétágazás (divergencia) alakul ki, és ezzel az ősi csoport leszármazottainak sok különböző feladat teljesítése (ma úgy mondanánk: ökológiai niche elfoglalása) válik lehetővé a keletkező változat adaptív sajátosságai szerint. (A koncepcióval sikeresen lehetett magyarázni sokféle evolúciós szétválást, többek között a galápagosi Darwin-pintyekét, az emlősök változatos végtagi struktúráinak fejlődését, az ausztráliai erszényesek sokrétűségét.)

A darwini evolúcióelmélet idején és utána megkezdődött a megkövesedett ősmaradványok morfológiájának újraértelmezése. Ekkor ugyanis a *paleontológusok* a fokozatos változás bizonyítékait kezdték keresni és meg is találni egyes esetekben. Némelyik kutató azonban, bár elvben elfogadta az evolúciót, még sem volt képes a változásokat a deterministának gondolt természetes szelekcióval értelmezni. A német paleontológus, Otto Schindewolf pl. a héjas puhatestű *Ammonites*-ben a progresszív bonyolódásnak, majd a formák leegyszerűsödésének bizonyítékait látta. Az amerikai őslénytantudós, George Gaylord Simpson azonban a gerincesek megkövesedett maradványait a darwini természetes szelekcióval magyarázta. A Haeckel-féle biogenetikai alaptörvény nyomán az embriológiai megfigyeléseket is az evolúció fényében interpretálták. Ezért pl. az *emlősök* embrióiban a kopoltyúrészek feltűnését a közös őstől származó maradványként fogták fel.

A XIX. századi kezdetek után az evolúció elmélete a XX. században fejlődött tovább. Ehhez először tisztába kellett jönni az *öröklődés* tényleges jelenségeivel és főleg a mechanizmusával is. Csak a XX. században vált világossá, hogy az evolúció több szinten zajló folyamat, alapobjektumai lehetnek az öröklődési anyagban található gének, az egyedi szervezetek, sőt, az azonos fajú szervezetek populációi és különféle csoportjai is. Ennek felismeréséhez azonban még a *populációbiológiát* is meg kellett alkotni. Aztán rá kellett jönni, hogy az evolúciós történések „színpada” az *ökológiai* összefüggések rendszere. Mindez már a XX. században történt.

F) A kémia tudománnyá válásának kora a XVIII–XIX. században

Varga Miklós

A kémia tudománnyá válása nem köthető egy határozott időponthoz vagy egy adott jelentős felfedezéshez. Mintegy 100 évre volt szükség ahhoz, hogy a klasszikus kémia fogalomrendszere, alapvető elvei megfogalmazódjanak. Nem járunk messze az igazságtól, ha azt mondjuk, hogy a kémiai elemfogalom első korrekt definíciója (Lavoisier, 1778) és a periódusos rendszer felfedezése (Mendelejev, 1868) határolja be azt az időszakot, amely alatt ez a folyamat végbement. Helytelen lenne ezen időszak nagy jelentőségű felfedezései között valamilyen fontossági sorrendet felállítani, kétségtelen azonban, hogy a kémiai elemfogalom kialakulása

mérföldkő ebben a fejlődési periódusban, mert logikai feltételét képezte minden további elmélet kialakulásának. Tudománytörténeti szempontból érdekes és tanulságos az ezt közvetlenül megelőző időszak. A XVII. század végétől kezdődően több kémikus is arra az álláspontra helyezkedik, hogy a kémia megújulása csak akkor képzelhető el, ha megvalósul a mesterségbeli tudás és a „korszerű” természetfilozófiai alapelvek valamilyen szintézise. Lényegében ezt a programot fogalmazza meg R. Boyle és Lomonoszov. Elképzeléseik sikerei és kudarcai egyrészt kimutathatóan befolyásolták a kémiai gondolkodás fejlődését, másrészt számos elvi tanulsággal is szolgálnak.

1. A kémiai elemfogalom kialakulása

a) Robert Boyle

Boyle (1627–1691) úgy vélte, hogy egyrészt túl kell lépni a csupán mesterségbeli célokat szolgáló kémiai tevékenységen, másrészt meg kell újítani a „kémiai bölcseletet”.⁴⁸ Az elméleti megalapozáshoz a mechanikus materialista filozófiát hívta segítségül, illetve éppen a kémiában látta az egyik fő területet, ahol e filozófia racionalitása, fölénye, a korábbi elméletekkel szemben látványosan igazolható. Mint ismeretes, a mechanikus filozófia keretében született meg az ún. elsődleges és másodlagos minőségek tana, Boyle ennek segítségével kísérli meg a kémiai elemfogalom kialakítását. Szerinte a „minima naturaliából” „prima mixta” jön létre. Felfogása szerint a minima naturaliák az elsődleges minőségek, amelyek a természeti erőkkel szemben teljesen ellenállóak, ezek az igazi elemek, az anyag atomjai. (Lényeges körülmény, hogy Boyle az „elem” és az „atom” fogalmakat szinonimaként használta!)

A másodlagos minőségek (szín, szag, íz, hő stb.) a prima mixtán belüli átalakulások, átrendeződések következtében jönnek létre.

Boyle elemfogalma semmi esetre sem tekinthető a modern elemfogalom előfutárának. Definíciója a következő:

„Elemnek nevezem mindazokat az eredeti és egyszerű, semmi mást nem tartalmazó testeket, amelyek egyikét sem lehet a másikból előállítani, és amelyekké az összetett anyagok bonthatók.”⁴⁹

Boyle elképzeléseinek jelentőségét az adja, hogy megkísérelt más utakat keresni a kémiai bölcselet számára, mint amelyek a látszaton alapuló arisztotelészi elemtanból következnek, illetve – ezt nagyon lényegesnek tartom – az „elrendeződés” fogalmát alighanem úgy tekinthetjük, mint az első kísérletet arra, hogy a *struktúra* és a *minőség* fogalmai között a tudományos gondolkodásban kapcsolatot keressünk.

b) M. V. Lomonoszov

A kémia természetfilozófiai megalapozásának lehetőségeit tekintve Boylehoz hasonló nézeteket vallott Lomonoszov (1711–1765) is. Hatása a kémiai gondolkodás fejlődésére kisebb, mint Boyle-é, nézeteinek rövid áttekintése azonban rendkívül tanulságos, mivel jól mutatja, hogy a következetesen alkalmazott mechanisztikus materialista természetfilozófiai elvek milyen

⁴⁸ R. Boyle: *Collected Works*, III. kötet (London, 1972).

⁴⁹ R. Boyle: uo.

problémák megoldását segítették, illetve melyekét gátolták. Nézeteinek részletes kifejtésére itt nincs lehetőség, érdemes azonban áttekinteni néhány axiómáját és ezek következményeit:⁵⁰

„I. lemma: 17 §. A testek minden változása mozgás által megy végbe.

1. tétel: Következésképpen a vegyületek változása is mozgás által megy végbe.
2. tétel: A mozgás tudománya a mechanika, így a vegyületek változásait a mechanika törvényeivel lehet magyarázni.
3. tétel: Ezért a vegyületek változásait a mechanika törvényeivel lehet magyarázni.
4. §. A minőség kétféle ... az elsődleges: a test tömege, alakja, mozgása, elhelyezkedése, a másodlagos: fény, íz, gyógyító erő, a részecskék kapcsolódása stb. Az elsővel minden test rendelkezik, a másodikkal csak némelyik. Ezért célszerű – Boyle-hoz hasonlóan – ez előbbieket általános, az utóbbiakat sajátos minőségnek nevezni. Mi a sajátos (másodlagos) minőségek oka? A sajátos minőségek kielégítő oka az érzékelhetetlen részecskék kiterjedésében, inerciaerejében, alakjában és mozgásában van!”

Fenti nézetek a kémiai elemfogalom kialakításában zsákutcát jelentettek, mert az elsődleges és másodlagos minőségek tanára alapozott felfogásával éppen úgy nem tudta megmagyarázni az anyagok minőségi sokféleségét, mint R. Boyle.

Nem véletlen viszont, hogy a fenti alapelvek segítségével nagyon korrektül megfogalmazza a hő = mozgás tételt, amely lényegében a száz évvel későbbi kinetikus gázelmélet alapját képezte. Ezzel magyarázható, hogy megfelelő kritikáját adja a flogiszon-elméletnek is.⁵¹

Láttuk, hogy Boyle, de még inkább Lomonoszov, a kémiai elmélet megújítását egy „korpuzkuláris mechanika” segítségével, módszereivel képzelte el. A tudományok történetében számos példát látunk arra, hogy egy adott korban a legfejlettebb szaktudományok elvei, módszerei mintegy példaként szolgáltak a kevésbé fejlett tudományok számára. Nem véletlen tehát, hogy a klasszikus fizika Galilei, Kepler és Newton nevéhez fűződő megalapozása, illetve ezen belül a mechanika viszonylagos fejlettsége komoly hatást gyakorolt a kémikusok gondolkodására is. Tekintettel azonban egyrészt arra, hogy ebben a korban a kémia fejlettségi szintje messze elmaradt a mechanika mögött, másrészt pedig a kémia megoldatlan problémái egészen más típusú

⁵⁰ М. В. Ломоносов: *Элементы математической химии*, 10–11. (М. В. Ломоносов: Избранные труды по химии и физике, Изд. Акад. Наук СССР, Москва 1961).

⁵¹ A XVIII. század közepére általánosan elterjedt hőanyagelmélet – flogiszonelmélet – hívei szerint égéskor a testekből hőanyag távozik. Érdekes, hogy habár mind Lomonoszov, mind Lavoisier fémégetési kísérletei lényegében szinte „experimentum crucis”-ként cáfolták ezt az elméletet, kimutatva, hogy zárt rendszerben semmiféle súlyváltozás nincs, az elmélet még igen sokáig élt és befolyásolta a kémiai gondolkodást. Fényes I. mutat rá *Termodinamika és termosztatika című* könyvének bevezető részében (Műszaki Kiadó, Budapest, 1968), hogy a hő kalorimetriás értelmezése – amely szerint a cserélt hő a hőmérséklet-különbség, a tömeg és a fajhő függvénye – sajnos, számos formai analógiát mutat az egyébként alapjaiban hibás flogiszonelmélet néhány fogalmával. Feltehetően ez a körülmény éltette tovább a hőanyagelméletet, mivel annak gyakorlati alkalmazóit – főleg a kohászokat – nem elsősorban az elméletek fogalmi tisztasága, hanem azok praktikus haszna érdekelte. Így a kalorimetria XIX. század elejei fejlődése éppen a formai analógiák miatt még mindig azt a látszatot keltette, hogy tulajdonképpen a flogiszonelmélet fogalmait helyezik „tudományos” alapokra.

feladatok megoldását igényelték,⁵² a mechanika elvein alapuló kémia megvalósítása irreális célkitűzés volt.

c) *Antoine-Laurent Lavoisier*

Lavoisier (1743–1794), akinek jelentőségét a kémia fejlődése szempontjából nehéz túlbecsülni, néhány évtizeddel később már egészen más elveket hirdet. Számára ugyanis nyilvánvaló, hogy mind a mechanisztikus atomista természetképen alapuló magyarázatok, mind az egyéb korabeli elméletek (pl. flogiszton-elmélet) a kémia számára szinte hasznavehetetlenek. Ezért kora valamennyi kémiai elméletét szigorú kritika tárgyává teszi, és mai szóhasználattal élve, szinte szélsőségesen „pozitivistá” tudományódszertant hirdet. „A szó csak jel” – írja híres munkája, a *Traité de Chimie*⁵³ bevezetésében. A kémiát ezért – írja ugyanott – az algebra mintájára kell megalkotni, s az így alkotott nyelv semmi mást nem tartalmaz, mint empirikus tartalmat. Ily módon – vélte Lavoisier – a nyelvalkotás kombinációs szabályai szerint juthatunk új ismeretekhez, általánosításokhoz.

Ez a program a mai szemmel nézve természetesen naiv, de tartalmazta az igazság csíráját és a XVIII. század második felében nagyon hasznosnak bizonyult. Ezen az alapon sikerült száműzni számos olyan kifejezést, amelyek önkényességet vittek a kémiába (pl. a „föld” elem fogalma).

Abban, hogy Lavoisier tartózkodik a metafizikai rendszerektől, viszont vonzódik egy csak matematikai-kísérleti módon művelt kémia iránt, a XVIII. század második felében kialakult francia tudományfejlődés jellegzetes megnyilvánulását láthatjuk. Már a századfordulón volt a kísérletezők részéről olyan törekvés, hogy a fogalmak elméleti jelentésének tisztázásától legalább ideiglenesen eltekintsenek. (Gondoljunk pl. arra, hogy a hőmérséklet fogalmának első meghatározása lényegében egy műveleti utasítás: osszunk valahányad részre bizonyos vonatkoztatási pontok által behatárolt intervallumot.) Ennek a magatartásnak a kialakulásában szerepet játszott a felvilágosodásnak a spekulatív metafizikai rendszerek elleni kritikája is.

Visszatérve fejezetünk fő mondanivalójához, Lavoisier a lehető legegyszerűbb utat választotta, az elem fogalmát műveleti utasítással definiálta:

„Elem az, ami felbonthatatlan.”

Ami ennek az utasításnak a gyakorlati megvalósítását illeti, Lavoisier és kortársai egy dolgot tudtak tenni, a vizsgált anyagokat súlyállandóságig hevítették. Ha nem tapasztaltak további változást, a kapott anyagot elemnek tekintették. Kétségtelen, hogy a fenti definíció segítségével a kémiai elemeknek csak egy részét tudták azonosítani, és voltak olyan anyagok is, amelyeket elemnek tekintettek, holott nem voltak azok. (Egyes magas bomláshőmérsékletű fénoxidok.)

⁵² Ha csak címszavakban is, de utalnunk kell arra, hogy a XVIII. század második felétől kezdve igen komoly fejlődésnek indult a vegyipar több területe, bizonyos alapanyagok előállítása már a tömegtermelés méreteit mutatta. A szénbányászat elterjedésével fejlődik a vas- és acélgyártás, az üveg- és a porcelánkészítés. Szabadalmaztatásra kerül a Leblanc-féle szódagyártás, megoldják a textilipari alapanyagok mesterséges fehérítését, előállítanak számos festékanyagot. A vegyipar fejlődése kimutathatóan visszahat a kémiai kutatásokra is, jellemző példa erre Davy munkássága, aki módszeres kísérletekbe kezd pl. a bányalég égési tulajdonságainak összetételének vizsgálatára. A Francia Akadémia tudományos bizottságokat hozott létre ipari problémák vizsgálatára. Neves kutatók, mint pl. Réaumur, DuFay, Berthelot foglalkoztak – mai kifejezéssel élve – „alkalmazott” kutatásokkal.

⁵³ A. L. Lavoisier: *Traité de Chimie* (Paris, 1789). Bevezetés.

A definíció azonban mégis rendkívüli jelentőségű volt, mert a felbontási módszerek időközbeni tökéletesedésével egyre nagyobb számú elemet tudtak azonosítani.⁵⁴

2. A klasszikus kémiai atomelmélet kialakulása. A daltoni atomhipotézis és kialakulásának körülményei

A daltoni atomhipotézis a következő állításokat tartalmazta:

1. Léteznek a kémiai elemek atomjai.
2. Vegyületképződéskor az atomok összetett atomokká alakulnak (Dalton szándékosan kerülte a „molekula” fogalmát!).
3. Ha két elemnek csupán egyféle vegyülete ismert, akkor ezeket egy-egy atom kapcsolódása alkotja. (Pl.: H-O; N-H; H-S. Ez az ún. „egyszerűségi elv”).⁵⁵

A daltoni atomhipotézis létrejöttének körülményeit illetően több téves nézettel is találkozunk. Van olyan felfogás, amely szerint Dalton számára – aki részben ismerte, részben maga fedezte fel a súlyviszonytörvényeket – lényegében készen állottak a tapasztalati törvények, amelyek a továbbiakban csupán értelmezésre vártak.

Az tény, hogy az ún. *állandó súlyviszonyok* törvényét Proust 1799-ben már felfedezte, de jelenlegi ismereteink alapján sokkal inkább úgy tűnik, hogy Dalton a *többszörös súlyviszonyok törvényét* azért fogalmazta meg, s ismerte fel, hogy a mérési adatok egy törvényt takarnak, mert már eleve feltételezte a kémiai elemek atomosságát. Roscoe és Harden⁵⁶ egyébként már a múlt század végén megjelent, Daltonról szóló könyvükben rámutattak arra, hogy nem az atomokra következtetett Dalton a többszörös súlyviszonyok törvényéből, hanem megfordítva. Másként fogalmazva, az igen nagy kísérleti hibákat mutató adatokat azért tudta szelektálni, mert volt egy előfeltevése: léteznek a kémia elemek atomjai. Ezt a feltevést valószínűsíti az a tény, hogy Dalton még a súlyviszonytörvények felfedezése előtt „atomok” feltételezésével próbált két problémát megoldani.

A levegő fizikai sajátosságainak vizsgálata során arra a kérdésre keresett választ, hogy a különböző elemekből álló gázelegyek miért nem válnak szét alkotórészeikre, miért képeznek homogén elegyeket? A magyarázathoz kiindulásul azt tételezte fel, hogy a gázok atomos

⁵⁴ A XIX. század során elsősorban az elektrokémiai felfedezések révén bővültek a vegyületek felbontásának módszerei. A műveleti utasításon alapuló elemmeghatározással kapcsolatban a századforduló idején jelentkeztek az első problémák. A természetes, majd a mesterséges radioaktivitás felfedezése (1898 és 1913) szükségessé tette, hogy ezeket a folyamatokat „zárják ki” a felbontási módszerek közül. Ekkor így módosították Lavoisier definícióját: Elem az, amely mesterséges kémiai módszerekkel szemben felbonthatatlan.

⁵⁵ Az ún. egyszerűségi elv régóta „kísért” a tudományos gondolkodásban. Az ötlet alighanem egy Occam nevű, XI. században élt gondolkodótól származik, aki, megunva a természetlen vitákat, úgy vélekedett, hogy egy dolog magyarázatára nem kell a szükségesnél több fogalmat felhasználni. Elvét azóta „Occam borotvája”-ként emlegetik, s módszertani tanácsként nem is igen lehet kétségbe vonni.

Más kérdés, hogy mit jelent egy természettörvény, illetve annak megfogalmazásának, matematikai alakba öntésének egyszerűsége? C. G. Hempel mutat rá egy könyvében (*Philosophy of Natural Science*, Princeton, 1966), hogy szinte kilátástalan dolog objektív kritériumokat találni erre nézve. Dalton mindenesetre tévedett, amikor sajátosan értelmezte és alkalmazta ezt az elvet.

⁵⁶ H. Roscoe–A. Harden: *A New View of the Origin Dalton's Atomic Theory* (Macmillan, London, 1896).

szerkezetűek, a hasonló elemek atomjai taszítják egymást, és a különböző elemek atomjai nem hatnak egymásra. Szintén atomelméleti kiindulóponton próbálta megmagyarázni a különböző gázok eltérő oldékonyságát. Feltételezte, hogy a gázok atomos szerkezetűek, atomjaik különböző tömegűek, ezért oldódnak különböző mértékben. Mindezekben az esetekben a gázok, tehát kémiai elemek (és vegyületek) „atomjainak” létezését kellett feltételeznie.⁵⁷ Tehát ami Dalton gondolatmenetét illeti, sokkal valószínűbb, hogy hipotetikus-deduktív következtetéssel állunk szemben, nem pedig empirikus-induktív általánosítással. A másik közkeletű tévedés, hogy Dalton „felújította” a görög atomizmust. Ez súlyos félreértés. Láttuk, hogy a XVII–XVIII. századi természetkutatás alapvető természetfilozófiai háttére mechanisztikus atomista szemléletű. A természetkutatás feladata – vélte a kutatók többsége – az, hogy változatlan létezőkből a hozzájuk rendelt tulajdonságuk segítségével levezessék a belőlük felépülő rendszerek sajátosságait. Az atomizmust tehát nem kellett felújítani, az benne volt a kor gondolkodásmódjában. Az is világos, hogy a görög atomizmus soha nem volt anyagszerkezet-elmélet, hanem – mint az előzőekből is kitűnhet – módszerként szolgált.

Dalton érdeme tehát nem az, hogy felismer egy egyszerű analógiát. Ennél sokkal többet tett; a kémiai elemek tulajdonságait *hozzárendelte* a kémiai elemek atomjaihoz, és világosan látta azt is, hogy az atomosság *relatív*, eszközeink függvényében létező kategória. Erről tanúskodik az alábbi Dalton-idézet, amelyben a szerző megindokolja sajátos szóhasználatát:

„Én az atom szót ezeknek az elsődleges részecskéknél a megjelölésére használom, előnyben részesítve a részecske, molekula vagy más kicsinyítő elnevezéssel szemben, mert ez a szó kifejezőbb, magában foglalja az oszthatatlanságot. Sajnos, lehetséges, hogy feleslegesen kiterjesztem azt, amikor összetett atomokról beszélek, pl. elsődleges részecskéknél nevezem a szénsav atomjait. Azonban, bár ez az atom osztható, ha elbomlik szénre és oxigénre, megszűnik létezni mint szénsav. Ezért, úgy gondolom, nem vagyok következtelen, ha összetett atomokról beszélek.”⁵⁸

Dalton tehát kiterjeszti az atom fogalmát, összetett atomokról beszél molekulák helyett, holott jól tudja, hogy ez utóbbiak állandósága csak viszonylagos. Úgy tűnik tehát, hogy Dalton atomfogalma már viszonylagos változatlanságot, viszonylagos szubsztanciát jelentett, semmi esetre sem tételezte fel, hogy csak egyféle erőhatással szemben lehetséges atomos viselkedés. Számára az atom valamely dolog legkisebb, a dolog természetét még mutató részecske volt. A XIX. század harmadik évtizedétől más kémikusok is – pl. Dumas – egyre határozottabban fogalmazzák meg, hogy az atomosság, ha létezik, akkor meghatározott erők függvényében jön létre. A relatív atomosság fogalma tehát jóval több, mint az a pusztán szaktudományi feltevés, mely a későbbiek során az atomok felbonthatóságának felfedezésével tapasztalatilag is igazolódik. Olyan fogalom ez, melyhez éppen úgy elméleti-gondolati, mint tapasztalati úton jutottak el.

3. A kémiai atomelmélet válsága és megszilárdulása

A közzelfogás úgy tartja, hogy Dalton a szaktudomány számára elfogadható módon kidolgozta a klasszikus kémiai atomelméletet, s ennek megfelelően az atomelmélet evolúciós fejlődését tételezi

⁵⁷ D. M. Knight: *Atoms and Elements* (London, 1967).

⁵⁸ М. Г. Фаерштейн: *История учения о молекулах в химии* 23 (Изд. Акад. Наук. СССР, Москва).

fel a klasszikus szerkezeti kémia és a periódusos törvény kialakulásáig. Valójában azonban nem beszélhetünk az elmélet evolúciós fejlődéséről, az atomelmélet XIX. századi fejlődése 3 alapvető szakaszt mutat.⁵⁹

Dalton hipotézisét, s részleges tapasztalati igazolásának megszületését követő felfutási periódust az atomelmélet hiányosságainak felfedezése, e hiányosságok kiküszöbölésére irányuló törekvések kudarca, s egy közel fél évszázados elméleti válság követi. E válságkorszakban ugyan egyre inkább nyilvánvalóvá vált, hogy a kémiának szüksége van az atomelméletre, mégis viszonylag hosszú ideig tartott, míg a kémikusok az atomelmélet belső problémáin úrrá tudtak lenni. Az atomelméletet általánosan csak a 60-as évek elején fogadták el.

Az atomelmélet válság szakaszát számos tényező bonyolult kölcsönhatása okozta, szaktudományi problémák, filozófiai-tudomány módszertani okok egyaránt szerepet játszottak kialakulásában.

a) A válság okai

E témakör áttekintéséhez induljunk ki abból, hogy mit várt e kor egy tudományos elmélettől? Általában mindenki elfogadta alapelveként, hogy egy elmélet feladata a tapasztalatok rendszerezése és tudományos előrelátások biztosítása. Megfelelt-e a kémiai atomelmélet ennek a követelménynek?

Kétségtelen, hogy a daltoni megfogalmazásban erre maradéktalanul még nem volt képes. Az elmélet gyakorlati felhasználása, a tapasztalatok rendszerezése nem volt lehetséges az atomsúlyok ismerete nélkül, ez viszont megkövetelte az önkényes egyszerűségi elv alkalmazását. A vegyületek összetételének ily módon való megállapítása, s az így számított molekulaszámok már igen hamar ellentmondásokra vezettek. Az atomista Avogadro pl. maga is bíráltni kénytelen Dalton, aki az egyszerűségi elv alapján feltételezett H–O vízösszetételből 8-as mólsúllyal számolt, míg Avogadro más módon ennek az értéknek közel kétszeresét fogadta el.⁶⁰ A kémiai atomelmélet válsága szempontjából kevésbé fontos, inkább tudománytörténeti érdekesség, hogy Dalton maga sem fogadta el a Gay-Lussac-törvényeket, illetve az Avogadro-hipotézist. Ennek oka, mint láttuk, a gázok szerkezetéről alkotott sajátos elképzelése, miszerint azonos atomok taszítják egymást, s a gázokban az atomtávolságok azonosak. „Zavaros eszme – írta Dalton –, hogy adott térfogatú oxigéngáz ugyanannyi részecskét tartalmaz, mint a hidrogén”.⁶¹

Milyen megoldási lehetőség kínálkozott az egyszerűségi elvből fakadó ellentmondások kiküszöbölésére?

Mivel a felmerült problémák éppen az atomelmélet hipotetikus részéből adódtak, az egyik kínálkozó lehetőség az volt, hogy szét kell választani egymástól az elmélet tapasztalati bázisát – a súlyviszonytörvényeket – és az atomhipotézist, mint önkényes, igazolhatatlan felépítményt. El kell vetni a „nyilvánvalóan önkényes” nézeteket az anyag atomos felépítéséről, csupán a tapasztalat által igazolt súlyviszonytörvényeket kell megtartani, de azokat nem az atomokra, hanem a kísérletekben szereplő anyagmennyiségre, az ekvivalensekre kell vonatkoztatni. Ezt az utat követte pl. Wollaston, aki az ekvivalenssúlyok rendszerét dolgozta ki, s Cavy is, aki Dalton munkásságából csak a többszörös súlyviszonyok törvényének megfogalmazását tartotta

⁵⁹ D. M. Knight: *Atoms and Elements*.

⁶⁰ D. M. Knight: *Atoms and Elements*.

⁶¹ D. M. Knight: *Atoms and Elements*.

jelentősnek.⁶² E felfogás látszólag azzal az előnnyel járt, hogy megmaradtak a tudományos előrelátások lehetőségét biztosító tapasztalati törvények, az elmélet problematikus része, az atomhipotézis nélkül. Itt nincs hely annak részletes elemzésére, hogy miért vélekedett így igen sok kémikus a XIX. század első harmadában. Csupán arra szeretnénk rámutatni, hogy a tudományos elmélet és az elmélet tapasztalati bázisának szétválasztása, majd ezek szembeállítása mind a kémiában, mind az újkori természettudományos gondolkodásban gyakorta megfigyelhető. Az okok nagyon különbözőek, kezdve a gyakorlati szempontból használhatatlan hipotézisektől való idegenkedéstől, olyan fogalomrendszerekre épülő elméletek kialakulásáig, ahol az egyes fogalmak értelmezése nehézkes (l. a modern fizikai elméletek fogalomértelmezési vitáit).

A válság kialakulása szempontjából a legfontosabb okot az atomsúly-meghatározások pontatlansága jelentette. Azok számára, akik elvben elfogadták a kémiai atomelméletet, hamar nyilvánvalóvá vált, hogy az atomelmélet gyakorlati alkalmazásának nélkülözhetetlen feltétele az atomsúlyok kielégítő pontosságú meghatározása. Ez a feladat azonban a kutatók számára nem csupán mérés-technikai, hanem nem várt elvi problémákat is felvetett, s jó néhány buktatót rejtett magában. Az itt felvetődő nehézségeket akkor érthetjük meg a legjobban, ha a kor egyik kiemelkedő kémikusa, J. B. Dumas munkásságának e szakaszát vesszük szemügyre. Dumas egyik cikkéből, amelyet 1826-ban írt, kitűnik, hogy a szerző jól látja az ellentmondást: az atomelmélet ugyan egyre szélesebb jelenségekör magyarázatát nyújtja, de az önkényes egyszerűségi elv bizonytalan alapot jelent az elmélet számára.⁶³ Az Avogadro-törvényt elfogadva, Dumas egy új, gőzsűrűségmérési módszeren alapuló eljárást dolgozott ki, hogy pontos atomsúlyértékekhez juthasson. Mérései során azonban néhány olyan anyagot is megvizsgált (AsH₃, PH₃, S), amelyekre nézve a mért atom-, illetve mólsúlyok nem voltak összeegyeztethetőek a más módszerek alapján nyert értékekkel.

Dumas hosszú időn át végzett kísérleti munkája nem hozott eredményt, az eltéréseket nem sikerült kiküszöbölni, s nem sikerült magyarázatot találni a felsorolt anyagok rendellenes viselkedésére. (A kudarc oka ma már nyilvánvaló. Fenti anyagok gőzállapotban asszociálódnak, a mért mólsúlyok ezért nem feleltek meg a tapasztalati képleteknek. Az eltéréseket csak úgy lehetett volna megmagyarázni, ha Dumas felismeri az asszociáció jelenségét, amit azonban csak a múlt század ötvenes éveiben bizonyított be Deville.)

Dumas jellemző módon reagált a kudarcra. Tízévi munkája eredményét végül is az atomizmus vehemens elutasításaként fogalmazta meg:

„Ha hatalmamban állna, kitörölném az atom szót a tudományból, mert meggyőződésem, hogy a tapasztalatunkból hiányzik, s a kémiában soha nem kell tovább mennünk a tapasztalatnál”.⁶⁴

Dumas nézete empirista tudományfelfogást tükröz. Véleménye azért figyelemre méltó, mert jól mutatja, hogy az atomelmélet válságkorszakában a megoldatlan szaktudományi problémák látszólag alátámasztották az elmélettel szembeni filozófiai-tudomány-módszertani ellenérveket.

⁶² *Classical Papers, Chemistry* 87–110 (Mills-Boom, London, 1968).

⁶³ J. B. Dumas: *Annales de Chimie* 33 (1826), 337. o.

⁶⁴ J. B. Dumas: *Philosophie Chimique* (Paris, 1836), 306. o.

b) A válság megoldódása

Az atomelmélet azért került válságba, mert bizonyos, széles körben elfogadott elemi tudományos normákat nem teljesített, s a válság úgy oldódott meg, ahogyan bővültek az elmélet magyarázó fogalmai és a tudományos előrelátások lehetősége. A XIX. század ötvenes éveiben Cannizzaro tevékenysége jelenti e folyamat első szakaszát. Cannizzaro a felhalmozódott ismeretanyag alapos elemzése révén kimutatja az Avogadro-törvények alkalmazhatóságát. Ez a felismerés komoly érv az atomhipotézis elfogadása érdekében, mert segítségével megoldódik az a probléma, hogy a korábbi atomelmélet az ismert tények egy részét nem tudta értelmezni. A vegyértékfogalom és a periódusos törvény felfedezése további döntő bizonyítékot képeztek, mert segítségükkel igazolták, hogy az atomelmélet tudományos előrelátások lehetőségét nyújtja. Az atomelmélet alapján kifejlődött atomsúly- és vegyértékfogalom tette ugyanis lehetővé egyrészt a periódusos törvény felállítását, mely után a szerves kémiai kutatás új szakaszba lépett, másrészt ezekre a fogalmakra épült a klasszikus szerves kémiai szerkezetelmélet is. E felfedezések segítségével számos új tapasztalatra tettek szert a kémikusok, melyek az atomelmélet további közvetett bizonyítékait képezték. E tények a kutatók döntő többségét meggyőzték arról, hogy az atomelmélet, ha nem is nélkülözhetetlen és igaz, de legalábbis hasznos.

4. A tudományos törvény problémái Mengyelejev és L. Meyer munkásságában

a) A periódusos törvény felfedezése

Alapvető törvény, hogy a tudományok egyenlőtlenül fejlődnek. Ennek következménye, hogy adott korban általában létezik egy vagy több olyan tudomány, amely kora élenjáró tudományának tekinthető, s amelyben a tudományfejlődés magasabb szintje valósul meg. A fejletlenebb tudományok számára ezek módszerei, felépítése mintaként szolgálnak. Ezt a tendenciát természetesen korlátozzák az egyes szaktudományok specifikus különbségei, általában azonban e minták létezése elősegíti a fejletlenebb tudományágak fejlődését. A XIX. századi tudomány egyik alapvető feladata az volt, hogy az egyes tudományágak területén kvantitatív törvényeket keressenek. Tudjuk, hogy ehhez a munkához elsősorban a fizikai kutatás adott modellt, ami pedig a matematikai eszközöket illeti, a matematikai analízis ebben az időszakban már igen komoly fejlettségi szintet ért el.

Mindezt azért szükséges előjáróban megjegyezni, mert a periódusos törvény felfedezésében igen lényeges szerepet játszott, hogy L. Meyer és Mengyelejev milyen nézeteket vallottak a tudományos törvény sajátosságairól, szerepéről. Az esemény, melyet vizsgáltunk, röviden a következőképpen foglalható össze:

L. Meyer lényegében 1860 óta folyamatosan dolgozott az elemek egységes rendszerének kidolgozásán. Az elemek viselkedésében tapasztalható periodicitás létezését azonban – alig kéthónapos munka után – Mengyelejev fedezte fel 1869-ben.

Mivel magyarázható, hogy éppen Mengyelejev jutott el először a törvény felismeréséhez (2. táblázat)?

2. táblázat. Mengyelejev első, 1869-es periódusos törvénye.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
			Zn = 65,2	Cd = 112	
			? = 68	Ur = 116	Au = 197?
			? = 70	Sn = 118	
			As = 75	Sb = 122	Bi = 210
			Se = 79,4	Te = 128?	
			Br = 80	I = 127	
			Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
			Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
			? = 45	Ce = 92	
			?Er = 56	La = 94	
			?Yt = 60	Di = 95	
			?In = 75,6	Th = 118?	
H = 1		Ni =			
	Be = 9,4	Mg = 24			
	B = 11	Al = 27,4			
	C = 12	Si = 28			
	N = 14	P = 31			
	O = 16	S = 32			
	F = 19	Cl = 35,5			
Li = 7	Na = 23	K = 39			
		Ca = 40			
		? = 45			
		?Er = 56			
		?Yt = 60			
		?In = 75,6			

Az előzményeket a következőkben foglalhatjuk össze.

1. A kutatók eljutottak odáig, hogy a hasonló viselkedést mutató elemeket családokban rendszerezték.
2. Bizonyos hasonló elemek atomsúlyai között egyszerű szabályszerűségeket fedeztek fel (Döbereiner, Pettenkoffer).

Közben, mint láttuk, Lavoisier és Dalton működésének eredményeként létrejött a kémiai elemfogalom, amely most már az elvont általános szintjén is megfogalmazódott.

Az elemek rendszerezése ezzel ellentmondásos szakaszba jutott. Az elemek mint „elemek” az elvont *általános* szintjén azonosnak minősültek, ugyanakkor az elemcsoportokba való rendszerezés azt a logikát követelte meg, hogy az adott elemcsoportba tartozó elemeket élesen szembeállítsák a más csoportba soroltakkal. A rendszerezést formális logikai oldalról a „kizáró vagy” viszony alkalmazása jelentette. Bizonyos elemek *vagy* hasonlóak egymáshoz és egy csoportba tartoznak, *vagy* különbözőek egymástól és különböző csoportokba kerülnek, de a csoportok között semmiféle kapcsolat nem volt a *különös* szintjén megadható.

A kémiai elemek egysége tehát csak az elvont általános szintjén volt ismeretes ebben a korban – ezt fejezte ki a kémiai elemfogalom. Az egyes elemcsoportok között – tehát logikai értelemben a különös szintjén – csupán a csoportokon belüli hasonlóságokat állapították meg, a felismert törvényszerűségek csak a csoportokon belül voltak érvényesek, de hiányzott az átmeneteket jellemző törvény. Ebben rejtett az elemrendszerezés ellentmondásossága; gyakorlatilag sikerült ugyan szinte minden elemet valamilyen részosztályba, csoportba sorolni, de ezek egymásról függetlenül léteztek. A különböző táblázatokban éppen ezért az egyes elemcsoportok egymáshoz való viszonya teljesen esetleges volt.

A periódusos törvény felismerése egyrészt megszüntette ezt az esetlegességet, mert az egyes elemcsoportokat is jól meghatározott viszonyba állította egymással, másrészt kifejezte azt a fontos körülményt is, hogy az egyes elemek közötti kapcsolat nem a többiekhez való hasonlóság *vagy* különbség, hanem az egyes elemek a hasonlóság és különbség átmenetei, csomópontjai egy egységes rendszeren belül.

Nézzünk egy klasszikus kémiai fogalomkörből származó, egyszerű példát. Az ón fémes és nemfémes módosulatát régóta jól ismerték a kémikusok. E két módosulat léte jól szemléltette egy vonatkozásban a hasonlóságot és különbséget, illetve ezek átmenetét. A szénecsoport kisebb

atomsúlyú elemeit mint nemfémes elemeket ismerték, az ólmot viszont egyértelműen a fémek közé sorolták. A fémek sajátságok tendenciózus változása ugyanakkor a negyedik periódus mentén is megfigyelhető volt, tehát az egyes csoportok közötti átmenet, kapcsolat is tükröződött a rendszer alapján.

b) A törvényfogalom eltérő felfogása L. Meyer és Mengyelejev munkásságában

Miben állt e két kutató törvényfogalmának és a törvényfeltárás útjára vonatkozó nézeteinek különbsége? A lényeges különbségek a következőkben foglalhatók röviden össze:⁶⁵

1. A törvény csak akkor tudományos jellegű, ha kvantitatív (L. Meyer).
 - A kvantitatív jelleg az egzaktság fokára vonatkozik (Mengyelejev).
2. A törvény nem a dolgok természete és viselkedése között fogalmazható meg, hanem csak a természet és viselkedés egy-egy kísérletileg közvetlenül vizsgálható paramétere között. Az elemek „természete” és „viselkedése” között feltételezett törvény legfeljebb szemléleti segédeszköz, valóságos tartalmát a kvantitatíve ismert paraméterek közötti viszonyok adják. Ilyen pl. az atomsúly–atomtérfogat görbe (L. Meyer).
 - Törvény fogalmazható meg az „egészek”, a dolgok természete és viselkedése között is, nemcsak a kísérletileg vizsgálható paraméterek között. Az ilyen törvény tartalma több, mint az egyes paraméterek között felállított törvények összeségében kifejezésre jutó tartalom (Mengyelejev).
3. Az adatokhoz képest a törvény mindig hipotetikusabb, lévén azok alapján felállítható. Valahányszor a tételezett törvény (szabály) és egy adat, egy egyedi tény között ellentét van, akkor a törvény módosítandó, miután az egyedi adatokhoz képest a törvény szubjektív mozzanatot tartalmaz. Tehát nem megengedhető az a módszer, hogy a feltételezett törvény alapján adatokat kétségesnek minősítünk, és azokat a törvény érvényesítése céljából önkényesen megváltoztassuk (L. Meyer).
 - A törvény szükségszerűséget fejez ki, így az alá sorolható egyedi adatok megítélése nemcsak lehetséges, hanem szükséges is (Mengyelejev).

Úgy vélem, ezek után érthető, hogy Mengyelejevnek volt „bátorsága” az elemek rendszerét – növekvő atomsúlyaik alapján – törvénynek tekinteni.

„Az elemek viselkedése atomsúlyuk periodikus függvénye” – fogalmazza meg a törvényt, s igen tanulságos, hogyan reagál erre L. Meyer:

„Már 1864-ben sikerült a különböző elemcsaládokat azonos sémába vonni... Mengyelejev röviddel ezelőtt kimutatta, hogy egy ilyen rendszerhez úgy is eljuthatunk, hogy az elemeket tudatos vizsgálódás nélkül sorbaállítjuk, e sorokat bekezdésekre osztjuk, majd a bekezdéseket változtatás nélkül sorbaállítjuk”.⁶⁶

Meyer tehát Mengyelejev táblázatát egyszerűen egy formális rendszerezési lehetőségnek tekintette. Miután a két táblázat lényegében megegyezett, nyilvánvaló, hogy a periodicitást saját táblázatában sem látta. Nézzük meg, hogy miért? A tudománytörténet-írás – meglepő módon –

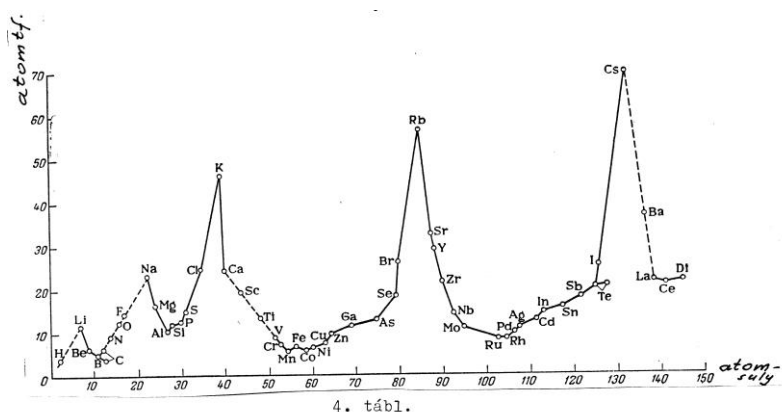
⁶⁵ Д. И. Менделеев: *Периодический закон* (Изд. Акад. Наук. СССР, Москва 1958).

⁶⁶ L. Meyer: *Die moderne Theorien der Chemie* (Breslau, 1872).

teljesen figyelmen kívül hagyta azt a tényt, hogy a mengyelejevi törvényt L. Meyer és Mengyelejev teljesen eltérő módon értelmezte. Meyer a következőket mondta:⁶⁷

„(Mengyelejev táblázata) azt a koncepciót nyújtotta nekünk, hogy az elemek tulajdonságai atomsúlyaiknak periodikus függvényei ... ugyanaz vagy hasonló tulajdonság tűnik fel újra az atomsúly bizonyos értékénél. Bármily meggyőző is azonban ez a megfigyelés, teljesen sötétben hagy bennünket a tulajdonságok megváltozásairól azon perióduson belül, amelynek végén megismétlődnek a kezdetnél észlelt tulajdonságok”.

S ehhez még hozzátette L. Meyer: csak a vegyértékek változnak folyamatosan. A természettudós, hogy ne legyen „önkényes”, mindent megtett, hogy az adott lehetőségek között a lehető legkevesebbet mondja ki. A periódusos törvény Meyer szerint nem tudományos törvény, mert nem kvantitatív, mert az elemek viselkedéséről és nem ezeknek egy empirikus, kvantitativ vizsgálható sajátságáról szól, s mert csupán a vegyértékeknél mutatkozik „átmenet”. Így tartalma nem több, mint az a majdnem triviális állítás, hogy meghatározott – de általános szabályként ismeretlen – atomsúly-növekedés után az elemek viselkedése periodikusan visszatér. Mint ismeretes, Meyer így is látott benne bizonyos heurisztikus jelentőséget, és óvatosan bár, de alkalmazni kezdte, s kimérte az atomsúly–atomtérfogat viszonyt kifejező görbét. Lényegében ezt tekintette az első periódusos törvénynek (l. az ábrát).⁶⁸



4. tábl.
Meyer atomsúly-atomtérfogat görbéje

A Mengyelejev és L. Meyer közötti nézetkülönbségeket jól mutatja még a későbbiekben az „ekaelemek” felfedezése körüli vita is.

Nagyon jól ismert tudománytörténeti példa, hogy miután Boisbaudran francia kémikus felfedezte a galliumot és közölte néhány fizikai adatát, Mengyelejev rámutatott, hogy a periódusos rendszerben elfoglalt helye alapján a galliumra más sűrűségérték várható. Az ismételt mérés igazolta Mengyelejevet. Kevésbé ismeretes viszont, hogy L. Meyer az ekaelemek felfedezése után is úgy nyilatkozott, hogy itt bizonytalan törvényszerűségek alapján való szerencsés jóslásról volt szó.⁶⁹

⁶⁷ L. Meyer: *Ostwalds Klassiker* 13 (Leipzig, 1895), Die Natur der chemischen Elements. 68. o.

⁶⁸ L. Meyer: *Die moderne Theorien*.

⁶⁹ L. Meyer: *Die moderne Theorien*.

5. A klasszikus kémiai szerkezetelmélet kialakulása. „A kémiai szerkezet” fogalmának különböző megközelítési módjai

A XIX. század közepső harmada az az időszak, amikor a klasszikus kémiai szerkezetelmélet kialakulásának feltételei létrejöttek. Ha az e témával foglalkozó kutatók nézeteit áttekintjük, egy érdekes kettősséget vehetünk észre. A kémikusok egy csoportja úgy vélte, hogy vegyületek tulajdonságait az atomokból kiindulva kell megmagyaráznunk, még hozzá oly módon, hogy a vegyületek bizonyos makroszkopikus tulajdonságait egyszerűen hozzárendelik a kémiai elemek atomjaihoz, feltételezve, hogy e tulajdonságok az atomok belső, igen állandó sajátosságai. Lényegében ezt a nézetet képviselte Kekulé, Couper, Frankland. E felfogás hívei az atomokból felépülő molekulákat a makrotestek állandó, elemi építőköveinek tekintették, amelyek általában rendelkeznek mindazon tulajdonságokkal, mint a belőlük felépülő test.

A kutatók más csoportja viszont úgy vélte, hogy a „kémiai szerkezet” fogalma tulajdonképpen relatív, mert a vegyületek különböző reakcióikban különböző szerkezetet mutatnak. Ezt a nézetet képviselte pl. Gerhardt. Érdekes egy általa idézett példával megvilágítani felfogásának tapasztalati alapjait. Gerhardt – egyébként nagyon helyesen – felismeri, hogy az ecetsav, mai szóhasználatnál élve hol acilező, hol acetilező, hol pedig karboxilező szer, illetve különböző reakciókban különböző funkciós csoportjaival reagál. Gerhardt az ilyen típusú megfigyelésekből arra következtetett, hogy nincs értelme valamely anyag állandó kémiai szerkezetéről beszélni, csupán „reakcióformulák” léteznek, amelyekkel az egy-egy adott reakcióban tanúsított viselkedést lehet jellemezni.

Itt nincs mód arra, hogy ezen tudományódszertani szempontból igen érdekes vita részleteire és egyéb vonatkozásaira rámutassak. A probléma lényege jelenlegi ismereteink alapján világos: a szerkezetfogalom e szélsőséges felfogásai között szintézist csak azután lehetett teremteni, miután világossá vált, hogy milyen típusú erőhatások alakítják ki a vegyületek szerkezetét. Erről pedig XIX. századi eleink nagyon keveset tudnak. Ezért érdemel figyelmet Couper, majd később Butlerov egy-egy megjegyzése, akik azt is tudták – hogy mit nem tudnak.

Couper:⁷⁰

„Amikor az individuális elemek minden sajátosságát és erejét meg fogjuk ismerni, akkor lesz arra lehetőségünk, hogy a vegyületek szerkezetéről, amelyek az elemekből képződnek, világos képet alkothassunk.”

Butlerov:⁷¹

„Igaz, hogy nem ismerjük azt a kapcsolatot, amely fennáll a bonyolult részecskékben az atomok kémiai kölcsönhatása és azok mechanikai elhelyezkedése között, így nem tudjuk, hogy közvetlenül érintkeznek-e egymással a kémiailag közvetlenül egymásra ható atomok, de ennek ellenére sem lehet tagadni..., hogy az összetett test kémiai sajátosságait főképpen alkotóelemeinek kémiai kapcsolatai határozzák meg.

⁷⁰ A. Sc. Couper: *Phil. Mag.* 1858, 104–116. o.

⁷¹ A. M. Butlerov: *Lehrbuch der organischen Chemie* (Leipzig, 1868).

Kiindulva abból a gondolatból, hogy minden kémiai atom, amely az adott test összetételében szerepel, részt vesz annak létrehozásában és hatását a neki megfelelő mennyiségű kémiai erővel (affinitással) fejt ki, kémiai szerkezetnek azon erők hatáelosztását nevezem, amelyek következtében – egymásra közvetlenül vagy közvetve hatva – ezek kémiai részecskévé egyesülnek.”

a) A vegyérték-fogalom megjelenése

E fogalom kialakulásának eseménytörténetét a tudománytörténeti irodalom elég részletesen taglalja,⁷² így e folyamatnak csupán néhány állomását kívánom jelezni.

Dalton óta tudták: a vegyületeket alkotó elemek atomjai között meghatározott mennyiségi összefüggések állnak fent. Mivel a kor gondolkodásmódjának megfelelően a vegyületek tulajdonságait rendre hozzárendelték az atomokhoz, nem meglepő, hogy előbb-utóbb sor került e fogalom bevezetésére.

Russel⁷³ helyesen mutat rá, hogy a vegyértékfogalomhoz két úton is el lehetett jutni, mind az ún. „gyökelmélet”, mind az ún. „típuselmélet” alapján. Ismeretes, hogy a XIX. század első felében a vegyületek összetételére vonatkozó tapasztalatok alapján a kémikusok egy része úgy gondolta (Kolbe, Frankland), hogy a vegyületek rendszerezése a kémiai reakciókban többé-kevésbé állandónak mutató atomcsoportok – a gyökök – segítségével lehetséges. Mások viszont úgy vélték (Gerhardt, Laurent), hogy a vegyületek négy ún. alaptípusba,⁷⁴ illetve az ezekből lezármaztatható alcsoportokba sorolhatók. Bár e két felfogás hívei más módon közelítették meg mind a vegyületek rendszerezésének, mind kémiai szerkezetének kérdéseit, kétségtelen, hogy tevékenységük során bővült az a tapasztalati bázis, amelyből arra lehetett következtetni, hogy a kémiai elemek atomjai bizonyos szabályszerűségek alapján alkotnak vegyületet más elemek atomjaival, és ezek a mennyiségi viszonyok atomi tulajdonságokat fejeznek ki. Jól látható ez a törekvés pl. Odling egy közleményében,⁷⁵ aki, miután megpróbált néhány fénoxidot és hidroxidot a típuselmélet szerint csoportosítani, bevezeti a „többatomos” elem fogalmát és azt a következő jelölésekkel szemlélteti: H', O'', K', Sn'', B''', Fe''.

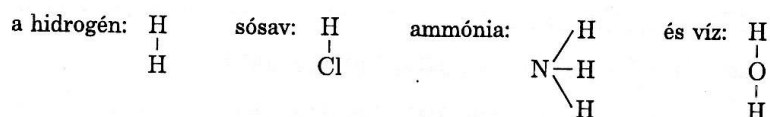
Ez a gondolat – ha még nem is nevezik nevén a vegyérték-fogalmat – már nagyon világosan kitűnik Kekulé egy 1857-ben megjelent cikkéből:⁷⁶

„Valamely elem atomjainak a száma, amely egy másik elem atomjaihoz kapcsolódik, az alkotórészek rokonságának mértékétől függ. Ebből a szempontból az elemek 3 csoportba sorolhatók:

⁷² C. Russel: *The History of Valency* (Oxford, 1971).

⁷³ C. Russel: *uo.*

⁷⁴ Gerhardt szerint a vegyületeket négy ún. alaptípus –



valamelyikébe lehet besorolni. E csoportokat később alcsoportokkal bővítették, áttekinthetetlen rendszert teremtve.

⁷⁵ W. Odling: *J. Chem. Soc.* 7, (1854), 1–22. o.

⁷⁶ A. Kekulé: *Annales der Chemie* 104 (1857), 129–150. o.

- egyatomosak (H, Cl, Br, K)
- kétatomosak (O, S)
- háromatomosak (N, P, As)

Ebből következik, hogy a vegyületeknek is 3 fő típusa lehet, amelyeknek a leggyakoribb képviselői: HH , OH_2 , NH_3 .⁷⁷

Ugyanebben a cikkben megjegyzi, hogy:

„A szén... 4 értékű, vagy 4 atomos, azaz egy atom szén ekvivalens 4 atom hidrogénnel. Ezért az első csoport legegyszerűbb szénvegyületei a CH_4 , vagy CCl_4 ”.

Úgy vélem, a tudománytörténeti irodalom egy fontos mozzanatra nem hívta fel eddig a figyelmet. Bizonyos, hogy a korábban említett rendszerezési kísérletek *kudarca* is nagymértékben hozzájárult a vegyértékfogalom kialakulásához. Mind a gyökelmélet, mind a típuselmélet rendszerezési káoszt eredményezett, s az ezt követő kritikák során fogalmazódott meg igen határozottan, hogy az eredményes rendszerezésnek csak az lehet az alapja, ha mint magyarázó elvhez, visszatérnek az elemek atomjainak sajátosságaihoz. Szinte természetes, hogy ez a „visszatérés” a XIX. században szükségképpen uralkodó, mechanisztikus rész-egész felfogás keretében ment végbe. Ennek lehetünk tanúi Couper egy cikkében is,⁷⁸ melyben a szerző a következőképpen bírálja a gyökelméletet:

„... éppen annál a pontnál bénítja meg a kutatást, ahol az magyarázatra szorul, mivel végső elemeknek bélyegez meg olyan testeket, amelyekről tudjuk, hogy nem azok. ... Nyilvánvaló, hogy az egész mindig egyszerűen a részek származéka. Következésképpen, e kvázielemek sajátosságai egyszerűen következményei az őket alkotó elemek sajátosságainak.”

C. Russel a már idézett művében egy érdekes táblázatot közöl a vegyértékfogalom etimológiájának történetéről (3. táblázat). Ami a szóhasználatot illeti, a tudománytörténeti irodalomból megállapítható, hogy a „vegyérték” (valenz) kifejezést Kekülé használta elsőként:

„Mikor a vegyületek atomi szerkezetének értelmezésekor nehézségekkel találtam szemben magamat, éveken át egy sajátos módszert alkalmaztam, nevezetesen, a különböző vegyértékű (valenz) atomokat különböző méretűeknek tüntettem fel.”⁷⁹

C. Russel⁸⁰ ezzel kapcsolatban feltételezi, hogy Kekülé és munkatársai hosszú időn át azonos értelemben használták a „vegyérték” (valenz) és a quantivalence kifejezéseket. (Ez utóbbi kifejezésnek nincs jó magyar megfelelője. Kekülé és kortársai az atomoknak azt a tulajdonságát próbálták így jellemezni, hogy azok általában más elemeknek egy vagy több atomjával képesek összekapcsolódni.)

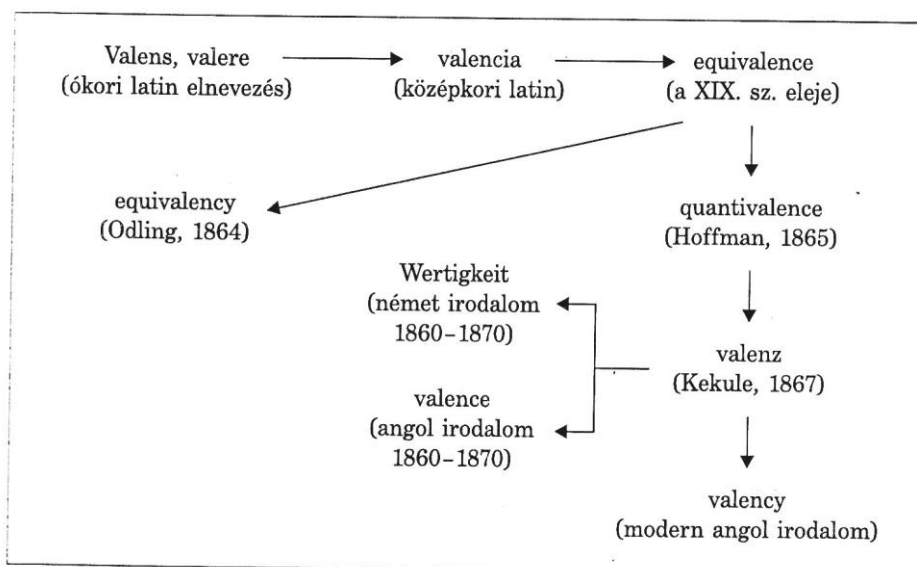
⁷⁷ A. Kekülé: *Annales der Chemie* 101 (1857), 200–213. o.

⁷⁸ A. Sc. Couper: *Phil. Mag* 1858, 104–116. o.

⁷⁹ A. Kekülé: *Lehrbuch der Chemie* Teil 2 (1861), 34. o.

⁸⁰ C. Russel: idézett mű.

3. táblázat



Bár a problémakör részletes elemzésére itt nincs lehetőség, érdemes megjegyezni, hogy e téren komoly terminológiai zűrzavar mutatkozott a múlt században. A különböző szerzők – mint erre Frankland⁸¹ már 1857-ben rámutatott – lényegében hasonló értelemben használták az atomosság, atomi erő, egyenértékűség és a vegyérték fogalmakat.

W. Ostwald 1904-ben megjelent és számos nyelvre lefordított tankönyvében⁸² pl. még mindig az „atomosság” kifejezést használta!

b) Az állandó és változó vegyérték fogalma

A vegyületek összetételére vonatkozó adatok gyarapodásával a kémikusok elég hamar szembetalálták magukat a problémával: egyazon elem atomjairól fel lehet-e tételezni, hogy a vegyértékük változó? Első pillantásra talán meglepőnek tűnik, hogy a kérdés megválaszolása egyáltalán gondot okozhatott, hiszen a XIX. század közepén már számos olyan vegyületet ismertek (pl. a nitrogén, a foszfor, az arzén, a szén stb. oxidjait), amelyekben 2 elem különböző összetételben fordult elő, és mint tudjuk, már Dalton működése óta ismerték a többszörös súlyviszonyok törvényét is!

Ne feledjük el azonban, hogy a XIX. század „következetes”, az atomelmélethez hű kémikusainak számára, az atomok változatlanságának elvéből logikailag szinte egyértelműen következtetett, hogy minden anyagi tulajdonságot, amelyet hozzárendeltek az atomokhoz, hasonlóan változatlannak tételezzék fel. A kémikusok egy csoportja ezért – és közéjük tartozott Kekulé is – inkább vállalta, hogy mai szemmel nézve szinte groteszk szerkezeti formulákkal⁸³ írja

⁸¹ E. Frankland: *J. Chem. Soc.* 19 (1867), 372–395. o.

⁸² W. Ostwald: *Lehrbuch der Chemie* (Berlin, 1904).

⁸³ Néhány példa arra, hogy bizonyos elvekhez való ragaszkodás milyen következményekkel járt. Würtz, aki feltételezte, hogy a klór mindig egy vegyértékű, a Cl₂O₇ és a HClO₄ szerkezetét a következő formulával jellemezte:

Cl-O-O-O-O-O-O-O-Cl

H-O-O-O-O-O-Cl

Ugyancsak tőle származik a következő képlet:

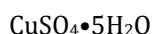
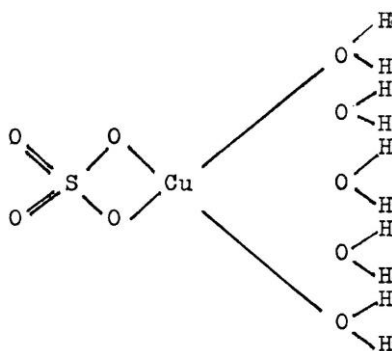
le az atomok kapcsolódását, annak érdekében, hogy a „vegyérték”, mint atomi tulajdonság, állandó maradjon.

A vegyérték – mondja Kekulé –⁸⁴

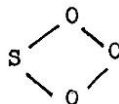
„... fundamentális atomi tulajdonság, ugyanolyan állandó és változatlan sajátosság, mint maga az atomsúly”.

E témakör részletes elemzését azért nem tartom szükségesnek, mert számunkra már nyilvánvaló, hogy az e téren jelentkező ellentmondásokat – nevezetesen az összetétel állandóságának és változékonyságának problémáját – a klasszikus kémia fogalomrendszerében nem lehetett feloldani, ehhez a kémiai kötés mibenlétének a megismerésére volt szükség.

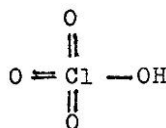
Érdekességként csupán arra szeretnék utalni, hogy Mengyelejev – aki egyébként igen sok vonatkozásban meglehetősen konzervatív atomista – nem fogadja el a „vegyérték” állandóságának elvét. Ennek egyik oka kétségtelenül az, hogy a vegyértékfogalom abszolutizálása a periódusos törvénynek is ellentmondott volna. Rá kell azonban mutatni arra is, hogy Mengyelejev elsősorban szerves kémiai kutatásokat folytatott, így olyan tapasztalati bázisról szemlélte a kémiát, amely nem is szolgáltatott kiindulópontokat a vegyérték állandóságának feltételezéséhez. Cikkei, közleményei alapján tudjuk, hogy pl. fémoxidok, fémhidroxidok, metalloidok⁸⁵ tulajdonságait vizsgálta. Ezek a vegyületek pedig változó összetételt mutattak. Nyilvánvaló, hogy más következtetésekre juthattak azok a kémikusok, akik elsősorban szerves kémiával foglalkoztak.



A kén kétvegyértékűségének gondolata jelenik meg Meyer SO_3 formulájában:



Végül is a véletlenül is múlt, hogy a formális gondolkodás segítségével egy-egy esetben jobban megközelítették a valóságos struktúrákat. Kemmerer perklórsav-képlete, amelyet kb. egy időben publikált, mint Würtz a fenti formulát, már közelebb jár az igazsághoz:

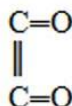


⁸⁴ A. Kekulé: *Comp. rend.* 58 (1864), 510–514. o.

⁸⁵ Д. И. Менделеев: *Сочинение* 15 (Изд. Акад. Наук. СССР, Москва 1960), 295. o.

Ők ugyanis, ha feltételezték a szén, a hidrogén és az oxigén vegyértékének állandóságát, lényegesen kevesebb problémával találták magukat szemben.

A XIX. század utolsó harmadára végül is „kompromisszum” született a kémikusok között. Axiómaként elfogadták a hidrogén egy- és az oxigén kétvegyértékűségének elvét. Ez utóbbi meglehetősen nehéz döntés volt, mivel cserébe fel kellett adni a szén négyvegyértékűségének elvét, amely pedig, mint tudjuk, a rendkívül sikeres szerves kémiai szerkezetelmélet alapját képezte. Azon próbálkozások közül, amelyek megkísérelték menteni az egységes értelmezés lehetőségét, érdemes idézni Newlands egy ötletét.⁸⁶ Szerinte a szén-monoxid a következő formulával írható le:



Ötlete azonban nem aratott sikert, hiszen ezidőtájt már ismerték a gázok asszociációjának jelenségét, de semmiféle tapasztalati tény nem támasztotta alá, hogy a szén-monoxid erre hajlandó lenne. A század végére terjed el a vegyértékfogalomnak az a ma is használt definíciója, amely szerint a vegyérték az a szám, amely megmondja, hogy egy adott elem atomja hány hidrogénatomot képes lekötni, illetve azt vegyületeiben helyettesíteni.

c) *A kémiai kötés fogalmáról, a fizika és kémia kapcsolatának néhány kérdéséről*

A kémia alapvető fogalmai közül alighanem a kémiai kötés fogalma az, amelyet a klasszikus kémia a legbizonytalanabban tudott körülírni, s amely ezután a XX. században alapvető jelentésváltozáson ment keresztül. (Ez utóbbi tényezőt, sajnos, mind tankönyveink, mind az ismeretterjesztő irodalom kevésbé hangsúlyozza, komolyan megnehezítve ezáltal a modern szerkezeti kémia fogalmainak oktatását és megértését.)

Érthető, hogy a kémiai kötés mibenlétéről a XIX. század kémikusai érdemben szinte semmit sem mondhattak, hiszen gyakorlatilag teljes mértékben hiányzott az ehhez szükséges anyagszerkezeti háttér. A különböző magyarázó próbálkozások egyszerű fizikai analógiákra támaszkodtak – lásd pl. Berzelius ún. dualista elméletét – ám ezek a hipotézisek már a kor tapasztalati ismeretanyagán belül is ellentmondásokra vezettek. A XIX. század végére a kémikusok általában tudomásul veszik, hogy a kémiai kötés valamilyen, egyelőre ismeretlen eredetű fizikai erőhatás következménye.

Mielőtt a fizika és kémia kapcsolatának néhány érdekes vonatkozására rátérnék, szeretnék még utalni arra, hogy az előbbieken említett probléma – az állandó és változó vegyértékek hívei közötti vita – szinte szükségképpen vezetett néhány olyan fogalom megjelenéséhez, amelyeket napjainkban is használunk. Nézzünk egy egyszerű példát!

L. Meyer 1866-ban a következőket írja⁸⁷

„... a jód-trikloridban (ICl₃) a kémiai rokonság 3 egysége jelenik meg, közülük azonban csupán egy az, ami erős, a másik kettő gyenge. Ez abból látszik, hogy a jód-triklorid hevítésekor felbomlik 2 atom klórra és jód-kloridra (ICl). Nyilvánvaló, hogy az előbb említett klóratomok gyengébben, a ICl-ben lévők viszont erősebben

⁸⁶ Newlands: *Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie* (Giessen, 1868).

⁸⁷ L. Meyer: *Die moderne Theorien* 74 (1868).

kötődtek a jódatomhoz. Hasonló példák sokaságát idézhetnénk, amelyekből arra következtethetünk, hogy van alapunk feltételezni gyengébb kölcsönhatások meglétét.”

Hasonló példák valóban bőven akadtak, és részben az ezek magyarázatára irányuló próbálkozások, részben az állandó és változó vegyérték fogalmak közötti kompromisszumkeresés végül is oda vezetett, hogy megjelent az „elsődleges” és „másodlagos” kötés fogalma. Ez a fogalompár mutatkozik meg nagyon világos formában a század végén az ún. Werner-féle koordinációs elméletben.⁸⁸

Ami a fizika és a kémia kapcsolatának általános kérdéseit illeti, a XIX. század második felében számos érdekes tendencia észlelhető. Változatlanul tanúi lehetünk annak a törekvésnek, hogy a mechanika és az égi mechanika módszerei modellként kellene hogy szolgáljanak a kémia számára, függetlenül attól, hogy ez a szemlélet a XVIII. században lényegében már kudarcot vallott (Lomonoszov).

Frankland,⁸⁹ aki egyébként nagyon sokat tett a vegyérték és a kémiai kötés fogalmának korabeli tisztázására, így vélekedik (1854):

„A kötés (bond) terminust alkalmazván, megkísérlem, hogy az eddigieknél konkrétabb jelentést adjak ezen fogalomnak ahhoz képest, ahogy a kémikusok ezt korábban tették, pl. az „atomosság”, „atomi erő”, „ekvivalencia” fogalmakkal ... Aligha szükséges hangsúlyozni, hogy ezen terminológia bevezetésével nem tételezek fel valami materiális kapcsolatot a kémiai vegyületek elemei között, habár kétségtelen, hogy ezen kötések ..., illetve azok természetét hasonló nézőpontból kellene vizsgálni, mint ahogy ezt a naprendszer alkotó égitestek esetében tesszük.”

Legalább ilyen tanulságos Than Károly véleménye is, aki egy 1904-ben megjelent egyetemi tankönyvének egyik fejezete elé a következő bevezetést írja:⁹⁰

„A kémiai mechanika feladata a kémia jelenségeit a mechanika alapelveire, tehát a tömeg, tér és idő vonatkozásaira visszavezetni. Ha e nagy feladat teljesen meg volna oldva, akkor a kémia elmélete az égi testek mechanikájához, az astronomiához hasonlítana. Ekkor abba a helyzetbe jutnánk, hogy a kémiai jelenségeket deductív úton, a fáradságos empirikus kísérletek mellőzésével, elméleti úton előre meghatározhatnók. Ez esetben a kísérletet főképpen az elmélet következményeinek mennyiségi ellenőrzésére használnók. Fölösleges önök előtt az ilyen elmélet fontosságát akár a philosophia, akár az alkalmazás szempontjából bővebben fejtegetnem. Ettől ugyan még távol vagyunk, de a lefolyt század második felében ez irányban fontos törvények fedeztetek fel, melyek azon eredményre jogosítanak, hogy a kémiai rokonság rejtélyét világosabban fogjuk megérteni, és hogy idővel a föntebb említett nagy cél a tudomány meg fogja közelíteni.”

⁸⁸ A. Werner: *Z. Anorg. Chem.*·3 (1893), 276–330. o.

⁸⁹ E. Frankland: *J. Chem. Soc.* 19 (1867), 372–395. o.

⁹⁰ Than Károly: *Az elméleti kémia újabb haladásáról* (Orvosi Kiadó, Budapest, 1904), lásd 70. o.

Kétségtelen, hogy Lomonoszov, Frankland és Than Károly nézeteinek alapvető kiindulópontjai sok tekintetben különböznek egymástól. Lomonoszov, mint láttuk, általános természetfilozófiai megfontolások, Than Károly pedig szakmai indokok alapján hirdeti a mechanika módszereinek követését. Ez utóbbi szerző idézett művéből a továbbiakban világosan kitűnik, hogy számára a tömeghatás törvénye, illetve ennek statisztikus mechanikai megalapozása szolgáltatta a közvetlen indítékot arra, hogy a mechanikai módszerek kémiai alkalmazását ily nagyra értékelje. Ami azonban mindhármuknál közös, az éppen az, amelyet T. Kuhn ismert fel paradigmaelméletében; a fejlettebb szaktudományok mindig modellként állnak a kevésbé fejlettek előtt. Nyilvánvaló, hogy azok az elvárások, amelyek kétségtelenül jellemezték a kémikusok egy részének gondolkodását, végül is kevés eredményt hoztak. Egyrészt az a nagy fejlődésbeli különbség, amely e két tudományterület között a fizika javára megmutatkozott, másrészt az a körülmény, hogy a mechanika módszereinek, fogalmainak közvetlen adaptálása a kémia tudományon belül csak nagyon lehatárolt területeken lehetett sikeres, azt eredményezték, hogy az előbbieken megfogalmazott várakozások általában illúzióknak bizonyultak.

Ami a XIX. század második felét illeti, úgy gondolom, két olyan területet említhetünk, ahol a fizikai ismeretek, fizikai módszerek fejlődése kétségtelenül előnyösen hatott a kémiára. A *statisztikus mechanika* Maxwell és Boltzmann által történt megalapozása, ennek a kémiai termodinamikára és ezen keresztül szinte az egész fizikai kémiára kifejtett hatása igen kedvező befolyást gyakorolt ezen területek fogalomrendszerének fejlődésére, törvényeinek pontosabb megfogalmazására. Ez még akkor is igaz, ha – mint az előzőekben láttuk – egyes kémikusok túlzott reményeket tápláltak a mechanikai módszerek kémiai alkalmazásával kapcsolatban.

Nem szabad megfeledkeznünk arról a közvetett hatásról sem, amelyet elsősorban a *kísérleti fizikai* fejlődése gyakorolt a kémia egyes területeire, annak következtében, hogy számos új mérési módszert, mérési eljárást fedeztek fel, illetve dolgoztak ki. Gondoljunk pl. a röntgensugárzás felfedezésére és ennek alkalmazási lehetőségeire a kristályos anyagok szerkezetének megismerésében, vagy az optikai eszközök gyors fejlődésére, amelyek segítségével lehetővé vált pl. különböző anyagok színképeinek felvétele. Mindezek nyomán a kutatási célokat szolgáló kémiai laboratóriumi technika oly mértékben fejlődött, hogy az e területről származó ismeretek igen nagy mértékben hozzájárultak a modern kémia megszületéséhez. Hadd emlékeztessenek pl. arra, hogy a Bohr-elmélet, illetve mindazok az ezt követő elméletek, amelyek az ún. „stabil elektronkonfiguráció” fogalmát bevezették, ehhez a feltevéshez részben annak következtében juthattak el, hogy már a századforduló táján sikerült felvenni néhány nemesgáz színképét.

6. A klasszikus szerkezeti kémia alapelvei, ellentmondásai.

a) Volt-e klasszikus szerkezetelmélet?

Aligha véletlen, hogy az elmúlt században, illetve a XX. század elején semmiféle olyan összefoglaló mű nem jelent meg, amely kísérletet tett volna arra, hogy összefoglalja a klasszikus szerkezeti kémia alapjait. Az eddig elmondottak alapján talán érthető a korabeli kémikusok tartózkodása, hiszen a *kémiai szerkezet* fogalmáról alkotott nézetek távolról sem voltak egységesek, sokan a szerkezet fogalmának létjogosultságát is kétségbe vonták, a kémiai kötés mibenlétéről gyakorlatilag semmi lényegeset nem tudtak mondani.

A korabeli irodalom tanulmányozása alapján utólag azért megkísérelhetjük, hogy összefoglaljuk a klasszikus kémia legfontosabb alapelveit.

A klasszikus kötéselmélet az atom, a molekula és a vegyérték fogalmain nyugodott. Tapasztalati alapjait a XIX. században megismert, *makroszkopikus* anyagmennyiségekre vonatkozó törvények (pl. a súlyviszonytörvények, az Avogadro-törvény, a gáztörvények stb.) képezték, elméleti alapját pedig egyrészt a daltoni atomelmélet, másrészt bizonyos, többé-kevésbé önkényesen elfogadott axiómák jelentették. A klasszikus kötéselmélet legfontosabb elveit a következőkben foglalhatjuk össze:

1. A kémiai kötés az atomok páronkénti kapcsolata.
2. Minden vegyület molekulákból áll.
3. A vegyérték a molekulákban levő atom sajátosága, s mindig kis egész szám.
4. A hidrogén minden vegyületben egy, az oxigén pedig két vegyértékű.

A felsorolt elvek közül a 2. és a 3. daltoni atomelmélet és a súlyviszonytörvények következménye, az 1. és a 4. pedig axiómaszerű megállapítás.

b) A sztereokémia kezdetei

Bár a kémia egész területét átfogó klasszikus szerkezetelmélet nem született, két részterület feltétlenül meg kell említeni, ahol részben fenti alapelvek, részben néhány kiegészítő feltevés alapján a gyakorlatban jól használható elmélet született. Az egyik a tankönyvekből és a tudománytörténeti irodalomból jól ismert Le Bell–van't Hoff-féle elmélet. Ebben a fenti alapelvek két lényeges gondolattal egészültek ki; a szénatom tetraédres struktúrájával és láncképzési készségével. Ez a modell lehetővé tette számos szerves molekula térbeli felépülésének megállapítását, elősegítve ezáltal a szerves kémiai szintézisek elvi alapjainak jobb megismerését, az izoméria jelenségek magyarázatát stb. A kétségtelen gyakorlati sikerek viszont egy ideig azt a látszatot keltették, hogy a sztereokémia a szerves kémia „belügye”. Jellemző, hogy A. Bayer⁹¹ 1885-ben összefoglaló tanulmányt tesz közzé, amelyben 7 sztereokémiai alapelvet fogalmaz meg – mind a hét a szénatomról szól.

A másik, a kevésbé ismert, a Werner-féle koordinációs elmélet. Úgy vélem, hogy Werner koordinációs elméletének méltatásával a kémiatörténeti irodalom napjainkig is adós maradt. Ha ugyanis figyelembe vesszük mindazt a meglehetősen szerény háttér-ismeretanyagot, amely az adott korban rendelkezésre állt, joggal mondhatjuk, hogy elméletével a lehetőségek maximumát adta. Vegyük sorba, milyen ismeretekre támaszkodott! Felfedezték az elektront (1897), ismerték a Faraday-törvényeket, ami pedig a kémiát illeti, Arrhenius (1888) megfogalmazott már egy ionhipotézist, de e mögött sem állt közvetlen anyagszerkezeti bizonyíték.

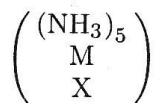
Annak bemutatására, hogy Werner mily módon keresett megoldást, álljon itt néhány szövegrészlet az 1983-ban megjelent *Beitrag zur Konstitution anorganischer Verbindungen* című cikkéből.

„Gondolatok az MR_6 gyökök elhelyezkedéséről és struktúrájáról.

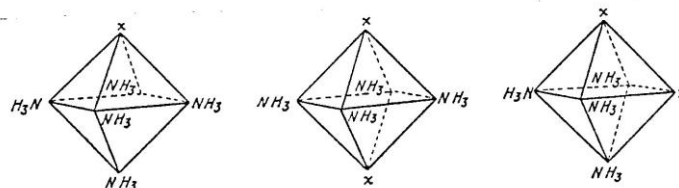
Ha abból indulunk ki, hogy a hidrátokban, ammóniákban stb. 6 víz, illetve ammóniamolekula alkot csoportot, és ezek az egyértékű csoportok veszik körül a szénatomot, akkor felmerül a kérdés, hogy milyen térbeli elrendeződését gondolhatjuk el az egész molekulakomplexnek ...

⁹¹ Id.: I. Szolovjev: *A kémia elméleti problémáinak fejlődése* (Moszkva, 1971), 217–218. o.

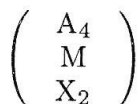
Nézzük először azt a molekulát:



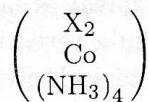
amelyben az oktaéder öt sarkához ammónia, a hatodikhoz pedig savmaradék kapcsolódik. Ha ebben egy ammóniát egy savmaradékra cserélünk, ezt két módon tehetjük:



Ily módon 2 izomér



összetételű molekulakomplexet kapunk általában, és ilyen kell, hogy legyen a már korábban említett

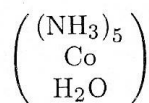


összetételű só is.

Ezt a konklúziót a tények igazolják. Mint Jörgensen kiváló munkájából tudjuk, ebben a sorozatban valóban létezik két izomer, az egyik zöld ... a másik violaszínű. Ezek az izomerek kémiai szempontból teljesen hasonlóak, a három savmaradék közül *csak egy ionos*. (Kiemelés tőlem V. M.) ... Ez az érdekes izoméria jelenség az első bizonyítéka az oktaédes szerkezetből levonható konklúzióknak."

Ugyanebben a cikkében egy másik helyen a következőket olvashatjuk:

„Az oktaédes formulából levonható következtetéseket más tények is igazolják. A következő összetételű kobaltsó



is két izomer sorozatban fordul elő, az egyik sárga, a másik vörös színű. A vörös színű só az, amelyiknél a három savmaradék, a három ammónia és a víz egy síkban található. Az a feltevés, hogy víz és a savmaradékok egy síkban helyezkednek el,

megmagyarázza, hogy a vízmolekulával kicserélődő, a fémhez kapcsolódó savmaradék miért veszíti el *ionos karakterét*, sőt, azt is, hogy miért megy oly könnyen végbe ezen molekulák cseréje.”

Az idézetből kitűnik, hogy Werner bátran használja a kötés ionos jellegének fogalmát. Beszél elektronvonzó-képességről, illetve az elektronok részvételéről a kémiai kötés kialakításában. Kvalitatív megállapításai, magyarázatai, lényegében ma is helytállóak.

Figyelemre méltó az a körülmény is, hogy ő az, aki először foglalkozik komolyan az oktaéderes szerkezetek vizsgálatával.

Érdekes idézni néhány későbbi tanulmányában megjelent gondolatát is.

„A fő vegyértékek a telítődésre való késztséget mutatják, amelyet az elektronnal való ekvivalenciának köszönhetően lehet mérni ...” (1902)

„Az elemi atomok késztséget mutatnak az elektronnal való kapcsolódásra, amelyet úgy jellemezhetünk, mint az elektronhoz való vonzódásukat. Az elektronhoz való kötődés mértéke az elemi atomok elektronegativitásától függően nő.” (1911)

Valószínű, hogy Werner definiálja elsőként a *koordinációs szám* fogalmát:

„Azon atomcsoportok számát, amelyek az elemi atomot körülveszik, koordinációs számnak nevezném” (*Z. Anorg. Chem.* 267–300, 1893.)

Ő vezeti be elsőként a koordinációs övek fogalmát is:

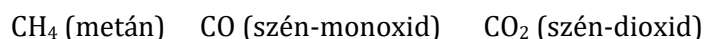
„Ha a fématomot gömbnek tekintjük, akkor az őt közvetlenül körülvevő csoportokkal együtt komplex gyököt alkot, ezek a csoportok az első övben helyezkednek el, míg a fennmaradó csoportok képezik a második övet.” (8. o.)

Werner elméletének jelentősége ugyan nem mérhető a Le Bell–van't Hoff-féle modellhez, de fogalomrendszere gyakorolt bizonyos hatást a modern kötéselméletek fejlődésére. A koordinációs elmélet elsősorban azért született meg, mert az elmúlt század végére sikerült előállítani és azonosítani néhány átmeneti fém ammóniával, vízzel és halogénnel alkotott vegyületeit. Mivel ezek összetételének értelmezése a vegyértékszabály alkalmazásával nem volt lehetséges, bevezették a „komplex” vegyület fogalmát. Feltételezték, hogy ezek a vegyületek egy központi fématomból és az ehhez egy ún. koordinációs övben csatlakozó ligandumokból állnak, amelyek meghatározott geometriai struktúrát mutatnak.

Érdekesség, hogy ennek az elméletnek az alapján, azokra az egyébként korrekt megfigyelésekre támaszkodva, melyek szerint e vegyületek egyes alkotórészei könnyen reakcióba vihetők, illetve izoméria jelenségeket mutatnak, feltételezték, hogy a kötésben „ionos kapcsolat” is szerepet játszik. Ez azért meglepő körülmény, mert az elmélet publikálásakor, 1893-ban, még semmiféle meggyőző kísérleti bizonyíték vagy általánosan elfogadott atommodell nem igazolta az ionok létezését. Az ion fogalma, mint tudjuk, azonban már Arrhenius óta (1888) ha hipotetikus formában is, de bekerült a kémiai gondolkodásba.

c) Alapelvek és ellentmondások

Ami az előzőekben vázolt általános alapelvek és a tapasztalati bázis szembeállítását illeti, nézzünk néhány jellemző példát. Korábban már utaltam arra, hogy az oxigén kétvegyértékűségének elve nem volt teljes összhangban a korabeli tapasztalatokkal. Nézzük példaként az alábbi vegyületek tapasztalati képletét:

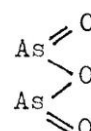
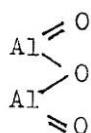


Látható, hogy a hidrogén egyvegyértékűségének elfogadása mellett két lehetőség között kell választani. Vagy az oxigént tekintjük mindkét oxidban kétértékűnek, s akkor megengedjük, hogy a szén két vegyértékű is lehet (CO), vagy a szén négyvegyértékűsége mellett foglalunk állást, akkor viszont az oxigén vegyértéke a CO-ban csak négy lehet. E két lehetőség között a választás nem volt könnyű, mert a XIX. század nyolcvanas éveiben már elterjedt és komoly sikereket ért el a szén négyvegyértékűségének elvén alapuló szerves kémiai szerkezetelmélet.

Ennek ellenére elterjedt az oxigén kétvegyértékűségének elve, a szén-monoxidban levő szén vegyértékére nézve pedig nem született a klasszikus kötéselméletben kielégítő magyarázat. Hasonló problémához vezetett a nitrogén vegyértékének megállapítása is a nitrogén oxidjaiban. A kémiai analízis eredményei alapján régóta ismeretes volt, hogy léteznek NO, NO₂, N₂O₅ tapasztalati képletű nitrogénoxidok. S bár más tapasztalatok arra mutattak, hogy a nitrogén általában 3 vegyértékű, a fenti vegyületekben – az oxigén kétvegyértékűségének elve miatt – 2, 4 és 5 vegyértékű nitrogén jelenlétét tételezték fel. Látjuk, hogy az axiómaként elfogadott elvből szükségképpen következett a változó vegyérték, illetve, az elsődleges és másodlagos kötések fogalma.

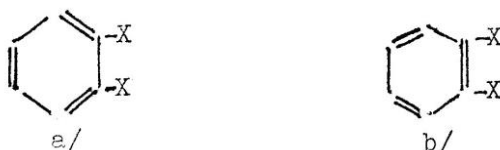
A múlt század 80-as éveitől kezdődően egyre több ellentmondáshoz vezetett az az elv is, mely szerint minden vegyület molekulákból épül fel. Bizonyos tapasztalati tények értelmezésére (oldatok áramvezetése, fagyáspontcsökkenésük mért és számított értékei közötti eltérések magyarázata stb.) már akkor felmerült az elektrolitos disszociáció hipotézise. Az a feltevés azonban, hogy bizonyos molekulák folyadékokban oldva elektromos töltésű részecskékre bomolhatnak, ellentmondott a fenti elvnek, mind pedig annak a szemléletnek, mely szerint a kémiai elemek atomjai változatlanok. Az az elv, mely szerint a kémiai kötés atomok páronkénti kapcsolata, a vegyértékszabály formális alkalmazásával együtt látszólag szerkezeti problémákat is megoldott. Az ily módon felírt szerkezeti képletek alapján azonban számos esetben vagy nem sikerült helyesen következtetni a vegyületek kémiai tulajdonságaira, vagy pedig nyilvánvaló ellentmondásba került a feltételezett szerkezeti képlet a tapasztalati tényekkel.

Nézzünk néhány példát. Az Al₂O₃ és az As₂O₃ képletű alumínium-, illetve arzéntrioxidra az alábbi szerkezeti képleteket írták fel:



A formálisan feltételezett hasonló szerkezet nem volt összeegyeztethető a két vegyület nagymértékben eltérő sajátságaival; míg az Al₂O₃ nagy keménységű, magas olvadáspontú, nehezen oldódó anyag, addig az As₂O₃ illékony, savakban, lúgokban viszonylag könnyen oldódó vegyület.

A tudománytörténeti irodalomból az is jól ismert probléma, hogy a benzol Kekulé-féle formulája nem adott magyarázatot arra, miért nincs a benzolnak ún. orto helyzetben diszubsztituált származéka:



Ha ugyanis helyes a Kekulé-féle képlet, akkor a benzolgyűrűben levő szénatomok strukturális helyzete különböző, s az a/ illetve b/ formulákkal felírt vegyületek fizikai és kémiai sajátágaiban különbségeket kellene találnunk. Ismeretes azonban, hogy nem sikerült előállítani kétféle, orto helyzetben diszubsztituált benzolszármazékot.

A hasonló típusú ellentmondásokat a klasszikus kémia fogalomrendszerében nem sikerült feloldani. Ezzel is magyarázható, hogy a kémikusok századunk első évtizedeiben igen nagy figyelemmel kísérték a fizikai elméletek fejlődését, és időnként túlzott sietséggel, kellő kritika nélkül próbálták azok fogalmait beépíteni elméleteikbe, annak reményében, hogy magyarázó szerepük ily módon megnő.

Végül szeretném felhívni a figyelmet arra, hogy a jelenkori szakirodalom a „szerkezetelmélet”, „szerkezeti kémia” fogalmakat – éppen tárgykörük sokrétegűsége, gazdagodása miatt – többféle értelemben is használja.

Szűkebb értelemben a szerkezetelmélet a kémiai kötés, illetve ennek az állapotnak a leírására, jellemzésére alkalmazott elméletek, módszerek összességét jelenti.

Tágabb értelemben ide sorolják a kötéselméleten kívül a különböző sztereokémiai elméleteket, /molekulageometria/ koordinációs kémiát, sőt, egyes tankönyvek a kristálykémiát is.

Irodalom

- BOYER, Carl Benjamin és MERZBACH, Uta Z. *A History of Mathematics*. John Wiley and Sons. 1989.
- DAVIS, Philip és HERSH, Reuben. *A matematika élménye*. Műszaki, Budapest. 1984.
- FREUD, R. (szerked.). *Nagy pillanatok a matematika történetében*. Gondolat, Budapest. 1981.
- GRATTAN-GUINNESS, Ivor. (ed.). *Companion Encyclopedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences*. Routledge, London. 1994.
- HOSKIN, M. A. *William Herschel and the Construction of Heavens*. Oldborne, London. 1963.
- KANT, I. *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie Des Himmels*. In: *Kants Werke*, Band I. Walter de Gruyter, Berlin. 1968.
- KNIGHT, D. M. *Atoms and Elements*. London. 1967.
- LAKATOS, Imre. *Bizonyítások és cáfolatok*. Gondolat, Budapest és Typotex, Budapest. 1981 és 1998.
- LAPLACE, P. *Exposition du Systeme du Monde*. Bachelier, Paris. 1824.
- RUSSEL, C. *The History of Valency*. Oxford. 1971.
- SAIN, Márton. *Nincs királyi út! Matematikátörténet*. Gondolat, Budapest. 1986.
- SMITH, D. E. *A Source Book in Mathematics*. Dover, New York. 1959.
- WHITNEY, Ch. A. *A Tejútrendszer felfedezése*. Gondolat, Budapest. 1979.

UTÓSZÓ

Reméljük, hogy sok mindent sikerült megismertetnünk az Olvasóval a tudomány működéséről, történetéről és talán – aki nem csupán a saját szakjára vonatkozó részeket olvasta el – egy kicsit még a természetről is. Ezen túl legfeljebb az lehetett a célunk, hogy bevezetést adjunk a XX. század tudománytörténetéhez, amely sok vonatkozásban különbözik minden előző korszaktól. Az irtózatossá válás mellett – amely közben a tudomány lényegében iparrá vált – a múlt század végétől, e század elejétől a tudomány teljesen átalakult. És itt nem csupán a tudomány paradigmaváltásokról van szó, ami például a fizikai forradalmakat (relativitáselmélet, kvantummechanika) jellemzi, hanem alaposan megváltozott a tudomány társadalmi helyzete is. A tudomány közvetlen szerepet kapott gazdaságunkban, mindennapi életünkben. Ezzel együtt például olyan erkölcsi kérdéseket vetett fel, mint a tömegpusztító fegyverekhez való hozzájárulása, vagy az élővilág genetikai állományába történő beavatkozás lehetővé tétele.

Eközben jócskán megváltozott a tudomány stílusa is. A korábban egységesnek tűnő tudás egyre apróbb részekre szakadt, a tudományterületek differenciálódtak, a tudósok egyre inkább szakosodtak. Ezzel párhuzamosan ugyanakkor az elszakadó területek példátlanul sikeres megtermékenyítő hatással voltak egymásra, gondoljunk csak mondjuk a molekuláris biológia esetére. A differenciálódás és integrálódás eredményeképpen olyan vadonatúj területek jöttek létre, mint a mesterséges értelem kutatása, az űrkutatás vagy az ökológia. Eközben az egyéni kutatások átadták a helyüket a kollektív erőfeszítéseknek, amelynek első igazán szervezett formája az atombombát előállító Manhattan-terv volt.

Meggyőződésünk, hogy ezt a rendkívül bonyolult mai tudományt reménytelen lenne valamennyire is átlátni az előző korok tudománytörténetének ismerete nélkül.