

HIDROGÉN, AZ ELEMÉK KIRÁLYA

SCHILLER RÓBERT

HIDROGÉN, AZ ELEMÉK KIRÁLYA

A KÉMIA SZÜLETÉSÉTŐL
AZ ENERGETIKA JÖVŐJÉIG



TYPOTEX

A könyv megjelenését támogatta: a Magyar Tudományos Akadémia és
a Nemzeti Kulturális Alap



© Schiller Róbert, Typotex, 2013

Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

ISBN 978 963 279 316 0

Lektorálta: Beck Mihály egyetemi tanár, az MTA r. tagja

Témakör: *fizika*

Kedves Olvasó!

Köszönjük, hogy kínálatunkból választott olvasnivalót!



Újabb kiadványainkról és akcióinkról
a www.typotex.hu és a facebook.com/typotexkiado
oldalakon értesülhet.

Kiadja a Typotex Elektronikus Kiadó Kft.

Felelős vezető: Votisky Zsuzsa

Műszaki szerkesztő: Csépany Gergely

Borítóterv: Jeney Szilvia Violetta

Készült a Kódex Könyvgyártó Kft. nyomdájában

Felelős vezető: Marosi Attila

Tamásnak és Marcellnek

Tartalomjegyzék

1. A természettudomány felé	1
Búcsú az alkímiától – Paracelsus	1
Termékeny kétkedés – Boyle	12
A fizikai kémia születése – Lavoisier	18
A léggömb	36
2. Kémia és fizika között	39
A jól választott tömegegység	39
A mérhetővé és megszámálhatóvá tett atom	59
Az eszményi gáz	72
Gázok a valóságban – gázokból folyadék	79
A lehetőségek tudománya: a termodinamika	83
Nyomás és hőmérséklet – belülről	99
Jóslatok a mólhőről	105
Új fizika?	112
Ami elveszett, ami megmaradt és ami született	115
Szabály és kivétel	131
Még egyszer a hidrogéngáz mólhőjéről	151
A hidrogénatom: mintha valami keringene és pörögne	154

Atomok: az elektronok összeférhetetlenek	164
A hidrogénmolekula: lehetőleg tágasan	173
Hányféle hidrogénmolekula van?	182
Hányféle hidrogénatom van?	186
A víz	189
3. Merre és milyen gyorsan	201
Hidrogén és műtrágya	201
A kettős nyíl – a kémiai egyensúly	205
Az idő is számít – a folyamatok sebessége	212
A valóság bonyolultabb	224
Így gyártsunk ammóniát!	229
4. Űrvegytan	233
5. Hidrogén és energia	249
Néhány kérdés a XXI. század energetikájával kapcsolatban	249
Elektromosenergia-tárolás	253
Hidrogénenergetika	264
Hidrogéngyártás féljövő időben	269
Napfény és hidrogén	291
Tárolás – hidrogén a kristályban	310
A könyv vége	318

Előszó

Akár a természetes emberi kíváncsiság vezet bennünket, akár egy gyakorlati feladatot kell megoldanunk, nagyon sok minden kell, hogy egyszerre jusson az eszünkbe. Pedig tankönyveink nem szeretik az ilyesmit. Szerintük a természettudományok minden ágának van saját története, vannak különálló módszerei, eredményei és törvényei, az eredményeknek a maguk területén vannak gyakorlati alkalmazásai. A tudományágak világosan elkülönülnek egymástól: létezik fizika, kémia, biológia. . . , és mindegyik további részterületekre oszlik. A kémia például felosztható fizikai, szervetlen, szerves. . . kémiára.

Nincs ember, aki képes lenne így gondolkodni. Új gondolatra csak a történeti előzmények ismeretében lehet jutni, módszereink a törvényeken alapulnak, alapvető megállapítások és aktuális alkalmazások egymástól gyakran szétbogozhatatlanok, távoli tudományágak gondolatait, eredményeit sokszor együttesen kell alkalmazni. Ebben a könyvben megpróbálom megmutatni, hogyan szokott a vegyészek, közelebbről a fizikai kémikusok fejé járni. Igyekszem majd megállni, hogy túl sok kémiai és matematikai kifejezést használjak; egy keveset, sajnos, nem tudok elkerülni, az olvasó azonban, ha akarja, elkerülheti őket.

A könyv első változata több mint negyedszázada jelent meg. A címe ez volt: *Rendszertelen bevezetés a fizikai kémiába a hidrogén ürügyén* (Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1987). Az előszavában egyebek mellett ezt írtam:

Ez egy nagyon hiányos könyv, Olvasó. [...] Távol van attól, hogy bármilyen értelemben is teljességre törekedjék. Inkább a példák egy többé-kevésbé összefüggő során akarja megmutatni a fizikai-kémiai gondolkodásmód néhány jellegzetességét. Azt a hidat, amelyet kémiai tapasztalatok és fizikai módszerek között vernek azok, akik ezen a határterületen dolgoznak.

A legegyszerűbb anyag a hidrogén. Hogy egyszerűségén mit értünk, azt nem olyan egyszerű megmondani. Biztosan nem azt, hogy hidrogént olcsón lehet előállítani, könnyű vele bánni, vagy hogy minden belőle készül. Sokkal inkább azt, hogy ez az az anyag, amelynek a viselkedését a legkevesebb fejtörés árán tudjuk fizikai törvények segítségével magyarázni. Ezért gondoltuk, hogy kevés szóval viszonylag sokat lehet mondani, ha a hidrogén példáján-ürügyén beszélünk a fizikai kémiáról.

[...] Azt hisszük, hogy a természettudományokkal való foglalatosság lényege a csodálkozásban van. Két értelemben is. Egyrészt úgy, hogy egy régtől természetesnek tartott jelenség fölött meglepődünk, mert igazából úgy látszik, hogy nem következik eddigi ismereteinkből; másrészt úgy is, hogy egy nagyon váratlannak látszó tapasztalatot természetesnek tarthatunk, mert meg tudjuk magyarázni jól ismert törvények alapján. ARISZTOTELESZ bizonyára tudta, hogy mit beszél, amikor arra sürgette tanítványait, hogy csodálkozzanak.

Ennek a könyvnek az igazi célja az, hogy néha csodálkozásra bírja az Olvasót.

Most se gondolom másként. Ezért a fizikai kémia történetével

és alapelveivel kapcsolatos részeket néhány helyen ugyan igyekeztem érthetőbben megfogalmazni, ki is egészítettem eggyel-mással, olyasmivel, amiről azóta olvastam, túl sokat azonban nem alakítottam rajtuk.

A világ azonban huszonöt év alatt nagyot változott. Az energetika, a környezettudatos gondolkodás sokat fejlődött, ennek az eredménye, hogy a hidrogén gyakorlati alkalmazásaitól az energiaipar ma nagyon sokat vár, sokat követel. A hidrogéngazdaság tapintható közelségbe került. Így szükségesnek láttam, hogy az ezzel közvetlenül kapcsolatos kérdéseket jóval részletesebben, az új eredményeket is tekintetbe véve ismertessem. Beck Mihály professzor vállalta az új változat lektorálását. Hálásan köszönöm bírálatát, tanácsait.

Az első változat írását akkor határoztam el, amikor befejeztük egy tankönyvünket szerzőtársaimmal, Liszi Jánossal, Ruff Imrével és Varsányi Györggyel. Ennek közreadása után gondoltam úgy, érdemes lehet hasonló ismereteket szélesebb olvasói kör számára is hozzáférhetővé tenni. A szerzők közül ma már csak én vagyok életben. Most hálás barátsággal emlékszem elhunyt kollégáimra.

Schiller Róbert

1. fejezet:

A természettudomány felé

Búcsú az alkímiától – Paracelsus

Sokan úgy gondolják, hogy a hidrogént PARACELSUS fedezte fel. Talán nem így van. Az azonban igen valószínű, hogy nélküle sokáig nem fedezte volna fel senki.

PARACELSUS, igazi nevén THEOPHRASTUS BOMBAST VON HOHENHEIM (1. ábra), a XVI. század első felének ez a kiszámíthatatlanul nyugtalan, bátor, mindig támadó kedvű tudósa, aki csöppet sem takarékoskodott a szóval, ha orvos vagy alkimista kartársait kellett becsmérlnie, hatalmasat mozdított a középkor végének alkímiáján. *„Sokan azt mondják, hogy az alkímia arany és ezüst előállítására való. Most azonban nem ez a célunk, hanem az, hogy megvizsgáljuk, milyen ereje és hatalma van az orvosságoknak”* – írta. Persze előtte se hitte mindenki, hogy az alkímia nem áll másból, mint nemtelen fémek nemesítéséből, ő pedig egyáltalán nem vonta kétségbe, hogy lehet „aranyat csinálni”. De érdeklődése – mai értelemben vett természettudományos érdeklődése, nem gondolunk itt most teológiai, vallásfilozófiai és misztikus

műveire – mindenekelőtt a gyógyító hatású vegyületek előállítására irányult. A pusztá gondolat is, hogy az orvos ne kizárólag természetes anyagokkal gyógyítson, meglehetősen merész volt, szakítás az antikvitásban gyökerező, GALÉNOSZ nevével jelölt, „galénuszi” gyógymódokkal, amelyek kizárólag növényeket, gyógyfüveket ismertek el gyógyszerül. PARACELSUS laboratóriumának termékeivel gyógyított, gyakran sikerrel, bölcsen felismerve, hogy gyógyszer és mérég között a különbség a dózisban áll.

Hogy az újítás milyen radikális volt, ha máshonnan nem, a körülötte folyó tudományos eszmecsereből ítélhető meg. Nemcsak ő szidalmazta leleményesen maradi ellenfeleit, azok sem állítottak kevesebbet az új gyógyszerekről (elsősorban talán a túl bőkezűen adagolt antimonkészítményekről), mint hogy gonoszabbul tombolnak, mint a pestis. Erről a szépirodalom is tud: GOETHE Faustja – már amennyire el lehet helyezni a történeti időben – nagyjából Paracelsus kortársa lehetett (volna). Faust a tragédia első részében részletesen elmondja, apja milyen alkímista eljárásokkal készítette orvosságait, majd így beszél. *„S e kotyvalékkal gyilkoltunk ezekben / a szép völgyekben és hegyekben / irtóbban, mint a döghalál.”* (Sárközi György fordítása). Ez bizony kegyetlen ítélet Paracelsus felől, akinek egyébként sok gondolata szerepel a műben.

PARACELSUS nevét valóban nem gyógyszerei tartották fenn, hanem sokkal inkább az az elhatározása, hogy gyógyszereit nem találja, hanem készíti. Kikutatja tehát, hogy melyik általa előállított anyag milyen bajra jó. A kutatói gondolkodásnak csak később kialakuló racionális rendjét persze még nem ismeri, a kuta-



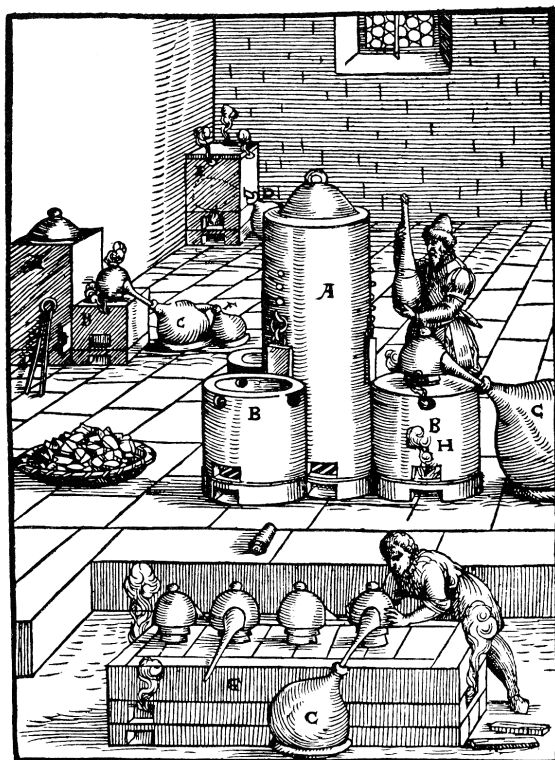
1. ábra. Paracelsus arcképe (Augustin Hirschvogel 1540-ből származó metszete nyomán)

tói szándék és indulat azonban az ő munkáiban lelhető föl először a kémia története során.

A mai olvasót sok minden elriaszthatja PARACELSUS írásaitól. Szerencsére az eredeti középfelnémet és korai újfelnémet orvosi szövegek, amelyeket latin mondattöredékek is átszőnek, javarészt már modern átírásban is hozzáférhetőek. Az alkímista praxis nehezen követhető laboratóriumi leírásain és az alkímista teóriák homályosságán, misztikáján persze semmilyen fordítás nem segíthet. Sokan – nem éppen a természettudományos érdeklődésű olvasók – személyében ma is a nagy misztikust ünneplik. De nem lehet véletlen, hogy ebben a tekintetben egyik legnagyobb hatású gondolata, a *tria prima*, a három őselv eszméje, amely Jakob BÖHME és Angelus SILESIUS misztikájára is hatott, szabatos laboratóriumi megfigyelések eredményeként született.

Az alkímista megfigyelések elsősorban az anyagok halmazállapotára vonatkoztak. A mai értelemben vett kémiai összetétel fogalma ismeretlen lévén ebben a korszakban, analízisen legtöbbször az anyagok destruktív desztillációját értették. Ezért látnunk annyi retortát, párolóüstöt, szedőedényt, primitív deflegmátort az alkímista műhelyét (2. ábra) ábrázoló rajzokon. Ezekben a ködösnek nevezett előidőkben az anyagokat egy nagyon szembeötlő, jól meghatározott fizikai tulajdonságukkal jellemezték: a halmazállapotukkal. Mai szemmel csak azt szabad ebben az eljárásban naivnak látnunk, hogy úgy gondolták, a halmazállapotok valahogy úgy maradnak meg a kémiai átalakulások során, ahogyan ma a tömeget vagy az elektromos töltést ismerjük állandónak.

A három őselv a három halmazállapot kifejezése. „... bár-



2. ábra. Alkimista műhelye (J. R. Partington: A History of Chemistry. London, MacMillan, 1961. nyomán, a kiadó engedélyével)
 AB toronykemence (athanor); BH mellékkamrák; C üveg szedőedény; D agyag szedőedény; G gallériakemence négy lombik felső részével; ED, AB (balra) kisebb kemencék; F második hűtő

mely test három dologból áll. E három dolog neve: sulphur, mercurius, sal. ... Ha egy testet kézbe veszel, egyetlen alakban három szubsztanciát fogtál meg." Latin szótárunk szerint a sulphur szó jelentése kén, a mercuriusé higany, a sal pedig só jelent. Mielőtt elmosolyodnánk ezen az elemanalitikai koncepción, olvassuk tovább az *Opus paramirum* első könyvét: „Az ami ég, az a sulphur, semmi más nem ég, mint a sulphur; ami füstölög (párolog), az a mercurius, semmi más nem szublimál, csak a mercurius. Ami hamuvá válik, az sal, semmi más nem válik hamuvá, csak a sal.” A hevítés és desztilláció közben megfigyelt jelenségeket foglalja össze ez a három név, és PARACELSUS világossá teszi, hogy nem gondol ő feltétlenül a vegyszerpolcon álló üvegcsékre. „Mercurius a szellem (spiritus), sulphur a lélek (anima), sal a test (corpus).” Ezeket a megfogható testekben levő elveket hozza napvilágra az alkímista mestersége, a *scientia separationis*, az elválasztás tudománya. És hogy jobban megértsük, nem anyagokról, hanem jelenségekről van szó, néhány sorral alább már magyarázza is: a kén a sulphurhoz *hasonlít*; a higany a mercuriushoz, a sal pedig a sóhoz, mert a hatásuk ugyanolyan. A hatásuk? Mondjuk inkább így: a viselkedésük. Az éghetőség princípiumát a kén testesíti meg a legjobban, az elpárologtathatóságét a higany, az éghetetlenség pedig a sóban ötlük leginkább a szemünkbe.

Az egyes anyagok, „testek”, csak abban különböznek egymástól, hogy más és más arányban tartalmazzák a három őselvet. Elvet és nem elemet, az elem szónak arisztotelészi antik, vagy éppen mai értelmében. „Más sulphur van az aranyban, más az ezüstben, más az ólomban, az ónban, ... más a zafírban, megint más a smaragdban, a rubinban, a krizolitban, az ametisztben, a mágnesekben...”

A felsorolás folytatódik – PARACELSUS bőbeszédű és fegyelmezetlen szerző.

Ilyen anyagképpel természetes, hogy – mint korábban mindenki – hisz a fémek átalakíthatóságában, abban tehát, hogy amint felfogásuk szerint a Föld mélyén a nemtelen fémek lassan nemes-sé érnek, úgy az alkimista műhelye is alkalmas hely arra, hogy benne a hitvány fém megnemesedjék. Mi természetesen tudjuk, hogy ez képtelenség, pontosabban szólva... mit is tudunk? Tudjuk, hogy akkora energia árán, amennyit a keverésből, a tűzhely melegéből vagy a Nap fényéből nyerhetünk, bizonyos anyagok átalakulnak egymásba, mások nem. Az utóbbiakat elemeknek nevezzük. Minthogy se HERMÉSZ TRISZMEGISZTOSZnak, se PARACELsusnak, se NEWTONnak (pedig ő is próbálta!) nem sikerült ólomból aranyat, vagy aranyból ólmot csinálnia, ezért azt mondjuk, hogy ezek az anyagok elemek. Azt is tudjuk persze, hogy jóval nagyobb energiák hatására már magreakciók mehetnek végbe, vagyis az elemek átalakulhatnak egymásba, ettől azonban az aranyat is, ólmot is csak elemnek tekintjük.

Aranyat pedig azért akartak az emberek csinálni, mert kedvező fizikai tulajdonságai, szép fénye, nem túl ritka és nem túl gyakori előfordulása (az Óvilágban legalábbis) az árucseré általános egyenértékessévé tette. Aki tehát sok aranyra tett szert, az gazdag ember lett. Az alkimistákon a közhiedelem ma azért mosolyog, mert egyfelől csak kis energiákat tudtak műhelyükben felszabadítani, másfelől mert az általános egyenértékes történetesen egy kémiai elem.

De Kínában valamikor egy másik, ugyancsak szép színű ásvány, a cinnabarit, a higany-szulfid állt az aragnál is nagyobb

becsben. Higany-szulfidot már lehet – még alkimista körülmények között is – csinálni, például higanyból és kénből. (A valószínűségben persze épp cinnabaritból állítottak elő higanyt, ezt azonban most felejtsük el egy percre.) Ha a cinnabarit terjed el általános egyenértékesként, az alkimista délibáb laboratóriumi valóssággá válik. Más kérdés persze (de ez már az elemi közgazdaságtan), hogy egy tetszés szerinti mennyiségben szintetizálható anyag feltétlenül elveszítené általános egyenértékesi funkcióját.

Számos-számtalan laboratóriumi beszámolója között PARACELSDUS leírta azt is, hogyan oldott fel egyéb fémek mellett vas-reszeléket vitriolban, vagyis tömény kénsavban (3. ábra). Mai vegyész ésszel nehéznek éreznénk, hogy megismételjük az eljárást, amelynek során egyebek mellett trágyában kell a lombikot melegengetni (ez volt a kor termosztátja), a szövegből azonban az az egy biztosan kiviláglik, hogy a vas az ő vitriolos lombikjában feloldódott. Ennek során, jól tudjuk, hidrogén fejlődik. A szövegnek ezen a helyén semmi ilyesmire nincsen utalás. De ugyanebben a műben, néhány lappal előbb ezt olvashatjuk (4. ábra):

„Így hát jól jegyezd meg: az elemek az elválasztás során abban az alakban és formában találtnak föl, mint amilyenben az alapvető elemekben előfordulnak. Mert a levegő a levegőhöz mutatkozik hasonlatosnak és kézzel bizony meg nem fogható, mint azt vannak, akik az ő elméjükben gondolják. Ennek pedig az az oka, hogy a levegő a szétválasztás instrumentumában felemelkedik, és úgy tör elő, mint a szél, és néha vízzel száll föl, néha földdel, néha meg tűzzel. Mert különlegesen csudálatos emelkedés leledzik a levegőben.”

A fogalmazást mai elménkben nem gondoljuk szabatosnak, a levegőhöz hasonló levegőről szóló megállapítás varázsmondó-

Das ander Buch

Von scheidung der Elementen
auff den Metallen.

Von der separation der elementē auff den Metallen ist ein proceß zu dem du dich mit gutem werckzeug versehen solt / vnd mit geschicklicher arbeit vnd mit wolerfarner kunst der handtübung vnd werck.

Am ersten mach ein aqua fort also :

℞ Salniter
Vitriol
Alaun.

Distilliere es zu einem starcken wasser / daß geuß wiß an die feces in ein kolbenglaß / distilliere es zu dem andern mal / diß aqua fort leutere mit Luna darnach soluiet darein essig. Nach diser beschēhung ℞ das metall gecalcioniert / vnd soluiere es darin zu wasser. So nun das auch geschehen ist / so separiere es darnon in Balneo Mariae widerumb darüber geschütt / so lang biß ein öl am boden gefundē wirt vñ Sol fast braun / von Luna fast lasurisch / von Marte rot vnd fast dunkel / von Mercurio weiß / von Saturno bleyfarb / von Venere ganz grün / von Ioue geelfarb.

Vnd

3. ábra. Részlet Paracelsus Archidoxa című művéből: a vas oldódása kénsavban (Az MTA Könyvtárának tulajdonában levő példányból)

kára emlékeztet inkább, mint természettudományos kijelentésre. Nem kétséges azonban, hogy a szöveg mögött nagyon sokféle gázfejlődés, gőzképződés megfigyelése húzódik meg. És mindez a kénsav és vasreszelék közötti reakció leírásának tözszomszédságában! Ebből gondolják egyes tudománytörténészek, hogy PARACELSUS, ha nem is írta le a hidrogént mint műveleteinek termékét, fejlődését biztosan megfigyelte.

Akárhogyan áll is a dolog, a „levegő” sajátosságai, vagyis a gázokéi és a gőzökéi, erősen foglalkoztatták a halmazállapotoknak ezt a jó szemű megfigyelőjét. Észrevette, egyebek között, hogy levegő híján nem ég a fa, ahogy az élőlények is megfulladnak nélküle. És nála tűnik föl először a légnemű anyagokat jelölő általános név, a *chaos* vagyis káosz. Ebből alkotta a németalföldi kémikus, VAN HELMONT a XVII. század elején a mai gáz szót.

Atomi-molekuláris anyagképünkben a szigorúan rendezett struktúrájú kristály ellentéte a gáz, amelyben az egyes részecskék rendezetlenül, csak a statisztika törvényeinek engedelmeskedve mozognak. Ebből sejtett meg valamit ez a nagy intuíciójú ós? Vagy a szó csak arra utal, hogy ellentétben a kézbe vehető, edénybe önthető anyagokkal, a gázok kiszámíthatatlanul elszállnak?

„Az embert alkotó elemek elpusztíthatatlanok. ... Amit a földtől kapott, visszatér a földbe, és ott marad, amíg csak Ég és Föld el nem múlnak; és ami benne víz, az vízzé válik újra, és senki féket erre nem vethet, ami benne chaos, az visszatér a levegőbe, tüze pedig a Nap melegébe.”

Der Archidoxen.

19

meiste fürgibt/welche wasser/welche erdt-
reich/welche lufft/vnd mit der form in ver-
gleichung der element wesentliche element/
vnd so sie also gescheiden sein/mögen sie wel-
ter nimmehr gebrochen werden/als das sie
zerstört werden auß den complexionen.

So merck dz die element in der scheidung
gefunden werden/gleich in der gestalt vñnd
form/wie sie in den wesentlichen elementen
sein/dañ die lufft erzeugt sich gleich der lufft/
vnd ist nicht zūbessan/als etliche in ihren
gemüthen meinen/auf vrsach/das in der in-
stanz der scheidung die lufft sich erhebt/vñ
herfür bricht gleich wie ein windt/vnd er-
wann mit dem wasser auffsteigt etwan erdt-
reich/etwan fiewi/dañ ein sondere wunder-
barliche auffhebung ist in lufft/als warm
in wesentlichen element wasser/soll die lufft
gescheiden werden/ala daß durch das siede
geschicht/vnd bald es seudt/so scheidt sich
die lufft von dem wasser/vñ so vil das was-
ser gemindert wirt/also nach seiner prepa-
ration vñnd quantitet wirt auch gemindert
der lufft.

Nun ist zūstmerck/das kein element wie
der lufft mag gefast werden/vnd doch sonst

c iij

4. ábra. Részlet Paracelsus Archidoxa című művéből: a gázfejlődés megfigyelése (Az MTA Könyvtárának tulajdonában levő példányból)

Termékeny kétkedés – Boyle

A hidrogén keletkezését tudomásunk szerint TURQUET DE MAYERNE írta le elsőként, a XVII. század első felében. Nyolc uncia vasreszelékhez apránként nyolc uncia vitriolt adott, majd kissé később ugyanennyi meleg vizet. Nagy sistergés, buborékolás és villódzás közepette egy bűzös, kénes gáz szállt fel – szennyezett volt a hidrogén – amely, ha gyertyát vittek a közelébe, lángra lobbant. *„Amint az velem is, nem épp csekély veszedelmemre, megessett”* – panaszoja TURQUET.

Ebből a leírásból még kitetszik az esetlegesség, a szinte játékos kísérletezgetés során tett megfigyelés. Nem sokkal TURQUET után, de bizonyára tőle függetlenül, Robert BOYLE is elvégezte ezt a kísérletet. Ha mást nem, csak ezt a leírást ismernénk a munkái közül, ebből is tudnunk kellene, hogy vele a kémiának egy új korszaka kezdődött el, a céltudatos, a jelenségeket saját jogukon vizsgáló kutatásé. Ő a keletkezett gázt nem engedte el a levegőbe, hanem víz fölött felfogta, megbecsülte a hőtágulását, és úgy találta, hogy az a levegőéhez hasonló. Végül – és talán ez a legfontosabb – ésszerűen módosított körülmények között megismételte a kísérletet. Ez már a modern kémikus eljárása.

A kísérlet egyébként csak apró morzsa BOYLE terjedelmes életművében. Visszavonult, hangsúlyozottan szerény életét (előkelő családjában ő volt az egyetlen, akinek semmilyen címerangja nem volt) a kísérletezés és az eredmények leírása, tollbamondása töltötte ki. A szöveggel nem bánt éppen takarékosan: a rossznyelvű utókor szerint összes műveit csak a nyomdász olvasta végig. Nevéhez ma, a sokat idézett gáztörvény mellett,

legfontosabbnak tartott művét, a *Sceptical Chemist* címűt szokták társítani. A könyve címe szerint is kételkedő vegyész erős ellenszenvvel ír az alkímisták meg PARACELSYS és követői rejtélyeskedő nyelvéről, még inkább laza fogalomalkotásukról: „Írásaik, akárcsak kemencéik, füstöt és lángot vegyesen vetnek.”

A könyv címében a szkeptikus szó határozott filozófiai álláspontot fejez ki. Az antikvitásban a görög ΠΥΡΡΗΟΝ nevéhez fűződött a szkeptikus iskola megalapítása, ő azonban semmi írott szöveget nem hagyott maga után. A felfogás egyik legteljesebb ókori kifejtése SEXTUS EMPIRICUS-tól származik, aki a Kr.u. I. század végén vagy a II. század elején működött. Műve elején már világossá teszi a szerző az iskola célját. „A szkeptikus filozófia az a képesség, hogy a jelenségeket és a gondolatokat bármely módon szembeállítsuk egymással; ebből kiindulva az ellentétes tények és érvek egyensúlya miatt először az ítéletek felfüggesztéséhez jutunk el, majd pedig a zavartalan lelkiállapothoz.” A szkeptikusok szerint akkor jutunk ide, ha megtartóztatjuk magunkat mindenféle ítélezéstől. Ezt helyesen is tesszük, mert érzékelésünk, személyes tapasztalataink eleve megbízhatatlanok, megállapításainkat pedig gondolkodásunk hagyományai és előítéleteink befolyásolják. Tehát bizonytalan, ingatag talajra épül minden ítélet.

Így aztán Boyle, a kísérletező és a jelenségeket gondosan felfigyő kémikus bölcsen kételkedik a pusztá megfigyelés erejében: „...én csaknem úgy tekintem a kémikus általános gyakorlatát és műveleteit, mint az ábécé betűit. Ezeknek ismerete nélkül nehezen lehet valaki filozófussá, de ez a tudás közel sem elegendő, hogy valakit azzá tegyen.” Különösen a három őselv, a higany, a kén és a só jelentése tetszik bizonytalannak. „Valóban attól tartok, annak, hogy a vegy-

szek oly zavarosan írnak az ő három őselvükről, az a legfőbb oka, hogy nekik maguknak sincsenek tiszta és határozott fogalmaik róluk.” Ennek a mai kor véget kell, hogy vessen. „Úgy veszem észre, hogy újabban a kémiával, érdeme szerint, tanult emberek kezdenek foglalkozni, olyanok, akik eddig megvetették ezt a mesterséget.”

BOYLE elemdefiníciója valóban világos, és nagyon közel áll a mai elem fogalmához: *„Én elemen azt értem, amit a legvilágosabb beszédű kémikusok a maguk őselvén értenek: bizonyos egyszerű vagy teljességgel elegyítetlen testeket, amelyek nem állnak más testekből vagy egymásból, amelyek alkotórészei valamennyi tökéletesen elegyített testnek, amelyek közvetlenül ezekből vannak összetéve, és amelyek végezetül ezekké bonthatók szét.”*

A „tökéletesen elegyített test” természetesen vegyületet jelent, szemben a tökéletlenül elegyített (mechanikus) keverékekkel. Az előbbi elemdefiníció egyébként voltaképpen nagyon régi, az antik sztoikusok megfogalmazásához esik közel – szavaiban legalábbis. Ismerve azonban azt a terjedelmes tapasztalati anyagot, amellyel BOYLE rendelkezett, ez a meghatározás, amely a sztoikusoknál jószerint csak a szó körülírását, szótári értelmezését jelenthette, az ő gondolkozásában már számtalan megfigyelés, tudatosan kiváltott kémiai átalakulás rendező elvéül szolgálhatott. Sajnos a további szöveg nem eléggé határozott, így nem tudjuk meg belőle, hogy milyen anyagokat tekintett ő elemnek.

Az atomelméletet, amelyet GASSENDI-nak EPIKUROSZ-ról szóló könyvéből ismert meg, BOYLE elfogadta, sőt – mint alaphipotézist – azt sem vitatta, hogy a részecskék állandó mozgása azok benső tulajdonsága. Felfogása szerint a nagyon apró elsődleges részecskék testecskékké állnak össze, és ezek aztán úgy vi-

selkednek, mint a kémiai elemek. Néha korpuszkulát, részecskét ír atom helyett. Bizonyára annak a jeléül, hogy amint azt világossá tette, nem kíván állást foglalni az anyag korlátlan oszthatóságának a kérdésében. Ebben tudatlannak vallja magát. Az atom vagy korpuszkula fogalma a mechanikai filozófia megalkotásához volt nélkülözhetetlen. Oszthatatlanságukban kételkedhetett. Amiben láthatóan biztos volt, az a létezésük és állandó mozgásuk. Tehát a szó szigorú értelmében nem volt atomista. Nem az oszthatatlan atomokra, hanem a mechanika törvényeire akarta alapozni a maga természetmagyarázatát. Az antik elgondolás különbséget tett a természet és a gépezetek működése között. Boyle véleménye szerint az anyagokban a korpuszculák úgy működnek, mint a gépek: hasonlóan az emelőkhöz, mérlegekhez, ingaórákhoz. Azonban nem gondolta úgy, hogy egy mechanikai, korpuszkuláris filozófia teljes világmagyarázatot kínálna. Bizonyára vallásos hite sem engedte a materializmus közelébe.

Mint NEWTON idősebb kortársa, igen természetes, hogy mechanikai magyarázatokat keresett tapasztalataira. Furcsa azonban, hogy ugyanakkor gyanakodva szemlélte a matematika térhódítását; elvont tudománynak tekintette a matematikát, amely nem áll közvetlen kapcsolatban a természet jelenségeivel. Nem ismerte, vagy épp elutasította GALILEI mindmáig sűrűn idézett mondását a természet könyvéről, amely a matematika nyelvén van írva?

Akárhogy is, észleleteit igyekezett számszerűvé tenni, kvantifikálni. A víz fagyásával járó térfogat-növekedést még csak kvalitatíve észlelte: kísérleteiben a jég vastag falú fémedényeket repesztett szét. Az anyagok sűrűségét azonban már látható gond-

dal, három vagy négy számjegynyi pontossággal határozta meg, hidrosztatikus mérleggel, vagy a mai piknométer nevű edényhez hasonló „fajsúlypalack” segítségével.

A levegő, a gázok tulajdonságai erősen foglalkoztatták; PARACELSUS elképzelése a semmi módon össze nem gyűjthető, kezelhetetlen gázokról már régen a múlté volt. TORRICELLI és PASCAL munkáit a légnyomásról és a vákuumról jól ismerhette, hasonlóképpen GUERICKE légszivattyúját és a vele kapcsolatos kísérleteket is. Ő maga is épített szivattyút, és kimutatta, hogy a folyadékok alacsonyabb hőmérsékleten indulnak forrásnak, ha a levegőt megritkítják fölöttük. Ezt a tapasztalatát fel is használta egy vákuumdesztillációs berendezés építésében.

Legfontosabb kísérletét, amely a nevét a mai fizikus és vegyész napi szóhasználatában is fenntartja, igen egyszerű eszközzel hajtotta végre. Egyik végén légmentesen lezárt U alakú csőbe higanyt töltött, és megmérte a lezárt csőszárban rekedt gáz térfogatát és nyomását (vagyis a higanyszint különbségét az U cső két szárában). A légkörinél nagyobb és kisebb nyomásokon egy sereg mérést végezve, végül kimondja, hogy eredményei jól egyeznek *„azzal a hipotézissel, amely felteszi, hogy a nyomások és térfogatok egymással fordítottan arányosak.”*

A megfogalmazás példás: utal a kísérleti hiba tényére, ami miatt nem várható, hogy bármely mérés eredményei tökéletesen egyezzenek egy matematikai összefüggéssel, ez utóbbit pedig hipotézisnek tekinti addig, amíg a mérések nem igazolják az érvényességét. Ez már a modern természettudomány gondolkodásmódja. Hibátlan a kísérlet is, az iskolai fizikaórán ma is így demonstráljuk a Boyle–Mariotte-törvényt. (MARIOTTE néhány évvel

utóbb újra felfedezte az összefüggést.) Kevés kísérlet ér meg több mint háromszáz évet!

Mai képletnyelvünkön, p -vel jelölve a nyomást, V -vel a térfogatot, a törvényt így szoktuk írni:

$$pV = \text{konstans}$$

tudva persze azt, hogy a jobb oldalon álló konstans függ a hőmérséklettől. Ezt egyébként BOYLE is észrevette saját hőtágulási kísérletei alapján, meg a Galilei-féle termoszkóp ismeretében.

Nem szeretnénk erről a nagyon tanult, rendkívüli szorgalmú, fegyelmezetten gondolkodó tudósról korát megtagadó képet rajzolni. Az aranycsinálás álmában, mint korában mindenki, ő is hitt. Ránk maradt egy részletes, színes kísérleti leírás arról, hogyan jutott egy ismeretlen eredetű, jelentéktelen külsejű, kis mennyiségű por egy kémikus birtokába, hogyan hevítette az ezt a port nemtelen fémekkel, majd hogyan talált hatalmas robbanás, villámlás és füstfellegek után tiszta aranyat a hevítőtégely alján. A kéziratot a szerző nem tüntette föl a nevét, de sok jel mutat arra, hogy BOYLE írta a szöveget. A szigorú tudós egy laboratóriumi jegyzőkönyv formájában álmodozott.

BOYLE már életében rendkívül nagy tekintélyre tett szert. Talán a legszebb dicséretet OLDENBURG, a Royal Society első titkára írta róla SPINOZÁnak, egy tudományos vitájuk kapcsán: *„A mi Boyle-unk nem tartozik azok közé, akik oly erősen ragaszkodnak saját nézeteikhez, hogy ezeket a nézeteket nem is akarnák egybevetni a jelenségekkel.”*