

# Függelék

## A kőolaj és a nemzetközi politika összefüggése dióhéjban

*Ebben az országban az a probléma, hogy a választásokon nem lehet nyerni az olajipar nélkül, de kormányozni sem lehet vele. – Roosevelt*

*Ha egy országnak van olajpolitikája, akkor az annyit jelent, hogy az olajipar szereplőinek állami politikája van. – Faure<sup>365</sup>*

A könyvünkben foglaltak kiegészítése céljából ismertetünk néhány töredéket a könyvtárakat megtöltő olajtörténelemből.

**Az I. világháború előtt.** Korán számottevővé vált a kőolajtermelés az egykori Oroszországban és a Szunda-szigeteken,<sup>366</sup> valamint egyes amerikai országokban (USA, Mexikó, Venezuela, majd Kanada). A háborúskodások először csak az Egyesült Államokon belül kialakult kíméletlen versengésben jelentek meg. „A 19. század második felében az amerikai üzletemberek félelme a Rockefeller<sup>367</sup> által 1870-ben alapított Standard Oiltól (S. O.) csak ahhoz a réműlethez hasonlítható, amelybe Napóleon ejtette Európa uralkodóit a 19. század elején.”<sup>368</sup> A harc azonban a hamarosan a határokon messze kívülre is áttevődött. Ekkor a küzdelem már a távol-keleti petróleumeladások érdekében folyt. A Shell a Nobel testvérek és a Rothschild által termelt orosz olajat a Szezi-csatornán keresztül szállította Kínába, Bangkokba és Szingapúrba, még hozzá a történelemben először nem hordókban, hanem tankhajóban, és így forradalma-

<sup>365</sup> Edgar Faure (1955–1956) francia miniszterelnök

<sup>366</sup> A szigeteken jelenleg négy ország osztozik: Brunei, Kelet-Timor, Indonézia és Malajzia. A szigetek többsége Indonéziához tartozik.

<sup>367</sup> John Davison Rockefeller (1839–1937) A Rockefeller név egybeforrta a kőolajból való meggazdagodással. A közjóra kitüntetett figyelmet fordító üzletember a családi hagyományokat követve dollármilliókat áldozott a gyógyszerkutatásra és a természetvédelemre. Ő „csupán” a 377. leggazdagabb ember volt Amerikában.

<sup>368</sup> Ida Minerva Tarbell (1854–1944) az USA egyik legnevesebb ipartörténésze. Megírta a Standard Oil történetét.

sítva a szállítást! Első versenytársa a Szumátrán termelő Royal Dutch Company szintén ráállt a tankhajók építésére. Újabb riválissá 1903-tól a S. O. vált a texasi mezők felfedezése után. Akkor és ott kezdődött az első igazi árháború.<sup>369</sup> Az amerikai társaság milliárdnyi petróleumlámpát adott a helyi lakosoknak ajándékba, hogy azok tőle vásárolják a világító petróleumot, az akkori leginkább keresett olajterméket. Válaszként a Shell 1906-ban egyesült a Royal Dutch céggel, így a multinacionális társaságok csírájává vált annak érdekében, hogy együtt versenyezzenek a S. O.-val. A társaságok között a küzdelem az 1910-es évektől a gépkocsik sorozatgyártásának megjelenésével és a hadigépezetek olajra történő átállásával az olajlelőhelyek megszerzéséért folytatódott. A Standard Oil az amerikai legfelsőbb bíróság 1911-ben feloszlatta, ezzel – csak hozzá képest! – kisebb társaságok jöttek létre. (Standard Oil of New Jersey, S. O. of New York, S. O. of California, S. O. of Ohio stb.)

Miközben a Royal Dutch Shell és a Standard Oil között zajlott az árháború, a Távols- és a Közel-Keleten is folyt az olajkutatás. Az angolok Burma után Perzsiában is találtak olajat. A már 1897-ben alapított Burmah Oil támogatásával 1909-ben megalakult az Anglo-Persian Oil Company. E társaság tőkeigényét – Winston Churchill kezdeményezésére – 1914-től az angol kormány biztosította. (A társaság 1954-ben felvette a ma is viselt British Petroleum – B. P. – nevet.) A Királyi Tengerészet – az Admiralitás – közvetlenül az I. világháború előtt állította át hadihajóit a széntüzelésről az olajtüzelésre.

1898-ban II. Vilmos császárnak<sup>370</sup> a török kormánnyal aláírt szerződéssel az volt a célja, hogy vasútvonal megépítésével gyökeresen átformálja a Német Birodalom ázsiai közlekedési arcát. A Berlin-Bagdad vasúti összeköttetés tervéről van szó, illetve a Perzsa-öböl olajának Németország általi kitermeléséről. Azzal, hogy a németek egyúttal olajkutatási koncessziót szereztek az Oszmán Birodalommal kötött egyezmény alapján, vészesen közeledtek az angol érdekszféra: Perzsia, illetve Mezopotámia felé, Oroszország és Anglia érdekeit veszélyeztetve.

A német hadosztályokat viszonylag gyorsan lehetett átcsoportosítani Európa centrumából a Shatt el-Arab térségébe. Egy ilyen, a balkáni vagy kis-ázsiai szárazföld belsejében zajló haderő-átcsoportosítást a tengeri hatalom Nagy-Britannia nem tudott volna megakadályozni. „Ezek a fejlemények nagyobb befolyást gyakoroltak a világháború kitörésére, mint ahogy azt általában gondolják, – írta Kiesling 1935-ben megjelent könyvében. „Anglia belenyugodott volna

<sup>369</sup> Az S.O.-t 1911-ben 38 olajtársaságra oszlatták fel. Ezek közül került ki az Esso (Exxon), a Mobil és a Socal (S.O. of California).

<sup>370</sup> II. Vilmos, teljes nevén Friedrich Wilhelm Viktor Albert von Preußen (1859–1941), Viktória brit királynő unokája, 1888 és 1918 között a Német Birodalom császára és Poroszország királya. Nagy szerepe volt a német fegyverkezésben, meghatározó akart lenni a külpolitika irányításában is. 1914-ben az orosz mozgósításra válaszul belépett a háborúba.

a német vasútpolitika mezopotámiai előrenyomulásába, ha az megelégedett volna Bagdaddal, mint végponttal. Anglia számára a helyzet akkor vált elfogadhatatlanná, amikor kiderült, hogy a németek a Perzsa-öböl mentén egy kikötőt akarnak szerezni. Annak érdekében, hogy ez ne sikerüljön, Anglia (miután már 1901-ben ellenőrzése alá vonta Kuvaitot) 1917-ben elfoglalta Bagdadot. A német törekvések kereszteztek Oroszország balkáni és közép-ázsiai ambícióit is. A német Bagdad-politika lényegében hozzájárult ahhoz, hogy átmenetileg háttérbe szorultak a brit–orosz ellentétek, és végül egymás stratégiai partnereivé váltak, mert egyformán érdekelték voltak a bagdadi vasút teljes kiépítésének megakadályozásában.

**Az első világháború.** Az olaj már ekkor is szerepet játszott, és pedig nem csupán a tengeralattjárók, hanem a tankok és a repülőgépek üzemanyagaként is. Ezzel az olaj fontossága az árháborúk mellett megjelent a csatatereken is. A háború kezdetén az Oszmán Birodalomhoz tartozó kirkuki (Irak) olajmezőket az Anglo-Persian Oil Company, a Royal Dutch Shell, a Deutsche Bank, a National Bank of Turkey és egy örmény származású üzletember – Gulbenkian<sup>371</sup> – birtokában levő Turkish Petroleum Co. uralta. A háború folyamán a németek és a franciák hamarosan olajellátási gondokkal küzdöttek. Georges Clemenceau az amerikai elnökhöz fordult segítségért, és így írt Wilsonnak: „Az elkövetkező csatákban a benzin éppen olyan fontos lesz, mint a vér. Az ellátásban bekövetkező fennakadás csapataink azonnali bénulását okozná.” Az amerikai nagytőke – Morgannel és Rockefellerrel az élen – szorgalmazta az Egyesült Államok hadba lépését. Számításaikat arra a félelemre építették, hogy Németország tengeralattjáróiról megtámadhatja az Egyesült Államokat. Wilson elnök Clemenceau levelére 15 millió tonna olajszállítással válaszolt, és 1917. április 6-án hadat üzent Németországnak. A háború befejeztével a vesztes németek részesedése a kirkuki olajvagyonból a San Remó-i konferencia értelmében megszűnt, Törökország pedig a Lausanne-i békeszerződésben mondott le arab tartományairól.

**A két világháború között.** 1925-ben megalakult az Irak Petroleum Company, még hozzá angol, holland, francia és amerikai részvétellel. A szaúdi termelés a '30-as években veszi kezdetét. A California–Arabian Standard Oil Co (a későbbi ARAMCO-t) első sikeres fúrását 1938-ban végezte. 1950-ben még 1 Mbpd alatt volt a szaúdi termelés, 1973-ban – az első olajválság évében – már meghaladta a 8 Mbpd-t. Ezzel igazolódott Rooseveltnek az az 1943. évi víziója – ame-

<sup>371</sup> Calouste Sarkis Gulbenkian (1869–1955) örmény üzletember. Nagy szerepet játszott a közel-keleti kőolajnak a nyugati fejlődésbe történő becsatornázásában. Élete végére a világ egyik leggazdagabb embere lett, vagyonából múzeumot alapított.

lyikre az 16. fejezetben már utaltunk, és amelyik a Rooseveltt Lord Halifaxszel lezajlott megbeszélése háttérben lehetett.

**A második világháború.** 1941. augusztus 25-én brit és szovjet csapatok megszállták Iránt. 1942-ben aláírtak egy szerződést a Perzsa-öböl térségét ellenőrzésük alatt tartó britekkel és az északi vidéket megszálló szovjetekkel arról, hogy tiszteletben tartják Irán viszonylagos függetlenségét, amennyiben az biztosítja az olajhoz, illetve az olajlétesítményekhez való korlátlan hozzáférést. 1941 és 1945 között Iránnak fontos szerepe volt a szovjet hadsereg üzemanyag-ellátásában, valamint az ún. Perzsa-folyosón szállították a szövetségesek az Egyesült Államokból és Kanadából érkező hadianyag-utánpótlást is, amelyet a Perzsa-öbölben raktak át a hajókról vasútra. A másik fontos momentum volt később a Közel-Keleten, hogy 1945-ben – a jaltai konferenciáról hazatérőben – Roosevelt és Ibn Szaúd a Quincy cirkálón megegyezett: Szaúd Arábia – olajszállításkért cserébe – az Egyesült Államok különleges katonai védeltségét fogja élvezni.

A háború folyamán a németek és a japánok a szövetségesekkel szemben kőolaj-hiányban szenvedtek. A németek a kaukázusi olaj megszerzésére tett hadműveleteikkel kudarcot vallottak, a szénalapú saját műbenzinyártó Fischer-Tropsch-üzemeik termelése pedig elégtelennek bizonyult. Üzemanyaghiány miatt a Luftwaffe gépei sokszor nem tudtak felszállni, Afrikában Rommel, az Ardenneknben pedig Rundstedt tankjai egyszerűen megálltak.<sup>372</sup> Ami pedig Japánt illeti, feléjük az amerikaiak 1942-ben leállították szállításaikat, és sikertelennek bizonyultak a japánok burmai olajbeszerzési kísérletei is. 1942-ben lerohanták ugyan a rosszul védett Burmát, de az ottani olajipar valamennyi létesítményét még idejében megsemmisítették a hazaiak.

**A második világháború után.** Csak a második világháború kitörése után derült ki, hogy az amerikai Standard Oil és a német I. G. Farbenindustrie a korábban kötött egyezményeiket a háború kitörése után sem szakította meg, és kölcsönösen használta egymás – többek között a hadviselés számára nélkülözhetetlen ólomtetraetilre és műgumira (BUNA) vonatkozó – szabadalmait. Az ezért járó jutalékot mindkét cég megkapta a másiktól, úgy hogy az összegeket Dél-Amerika közvetítésével utalták át.

Mattei,<sup>373</sup> az olasz állami kőolajtársaság elnöke a világ kőolajiparát a II. világháború után domináló hét legnagyobb kőolajtársaságát „Seven Sisters”-nek

<sup>372</sup> Egy tank üzemanyag-fogyasztása 100 km-enként egy mai korszerű gépkocsinak az ötven-százszorosát is eléri.

<sup>373</sup> Enrico Mattei (1906–1962) az Ente Nazionale Idrocarburi (ENI) vezérigazgatója volt. Arra törekedett, hogy megtörje a Seven Sisters oligopóliumát. Máiig tisztázatlan repülőgép-szerencsétlenségben lelte halálát. Erről Francesco Rosi A Mattei-ügy címmel készített filmet 1972-ben.

nevezte el.<sup>374</sup> Átalakulások sora után mára ezek lettek a „szupermajor”-ok. Ma más néven egyszerűen csak Big Oilként ismeretesek a legnagyobb, nem állami tulajdonban lévő energetikai társaságok (ExxonMobil, BP, Royal Dutch Shell, Chevron, ConocoPhillips és Total). Mattei 1956-ban megjelent Iránban, és ajánlatot tett Pahlavi sahnak. Javasolta, hogy alapítsanak közös iráni–olasz olajtársaságot az addig még föl nem mért területek kutatására, valamint olajki-termelésre, és mindössze 25% részesedést kért. A sah az amerikai nagykövét figyelmeztetései ellenére elfogadta az olaszok ajánlatát. Mattei több üzletet kötött az Arab-félsziget és Afrika országaiban is, mindenütt részesedést kínált partnereinek. Állami olasz vállalatról lévén szó, az állam maga dolgozta föl és értékesítette olajtermékeit. Így jött létre az olasz vegyipar is. Mattei sikerei azonban olyan tanulságot jelentettek, hogy ha egy kapitalista országban az állami vállalkozás képes eredményesen működni, pusztá létével megkérdőjelezi a konszernnek létjogosultságát. 1961 júliusában Párizsban összeült az OAS<sup>375</sup> „bírósa”. Azzal vádolták Matteit, hogy kapcsolatban áll az algériai felszabadító mozgalommal, és a szaharai olajmezők koncessziójára pályázik. Az ítélet: halál. A „végzést” írásban elküldték Matteinek, aki nyilvánosan nevetségesnek minősítette az OAS eljárását, titokban azonban testőrséget szervezett. Nem sokkal később a pilóta egy csavarhúzózt talált Mattei magánrepülőgépeinek hajtóművében, amely 1962-ben a milánói repülőtér közelében lezuhant.

Az energiaigények növekedésével, valamint a társadalmak energiafüggőségének fokozódásával egyre több ország, illetve országcsoport (OPEC, EU) kormányzati szintre emelte az energiakérdést. A multinacionális társaságok – a 20. század első felének végétől sorozatosan felgyorsuló államosítások után – a Föld hagyományosan kitermelhető olajvagyonának ma már együttesen kevesebb mint 20%-át birtokolják. 1973-ban a BP – akárcsak valamennyi versenytársa – az OPEC-országokban elvesztette a legtöbb olajforráshoz való közvetlen hozzáférést. Az OPEC átvette az ellenőrzést a termelés és az árak felett. Ma a világ olajvagyonának négyötöd része nemzeti olajvállalatok kezében van. A multik a még meglevő hatalm(asság)ukat tőkájük mellett elsősorban a technológiájuknak köszönhetik.

Az államosítások eltérően játszódtak le. A termelés államosítása az 1910-es években kezdődött, és nagy vonalakban évtizedek alatt a következő sorrendben zajlott le: 1918-ban a Szovjetunióban, 1937-ben Bolíviában, 1938-ban Mexikóban, 1951-ben Iránban, 1953-ban Brazíliában, 1961-ben Irakban, 1962-ben Burmában és Egyiptomban, 1963-ban Argentínában és Indonéziában, 1968-ban

<sup>374</sup> A Hét Nővér közül öt amerikai (volt): Gulf Oil, Standard Oil of California, Texaco (most Chevron), Standard Oil of New Jersey (Esso) és Standard Oil Company of New York, Socony (most Exxon-Mobil); egy angol: Anglo-Persian Oil Company (most BP) és egy angol–holland: Royal Dutch Shell.

<sup>375</sup> Organisation de l’Armée Secrète. Algéria önrendelkezése ellen létrehozott szervezet.

Peruban, 1970-ben Líbiában<sup>376</sup>, 1976-ban Venezuelában kezdődtek meg vagy folytak az államosítások. A szaúdi kormány is államosította az ARAMCO-t, és 1980-ra a társaságot Saudi Arabian Oil Company (vagy Saudi Aramco) néven ellenőrzése alá vonta. Az olajvagyonok tekintetében mára dominánssá váló legnagyobb nemzeti olajtársaságokat – Saudi Aramco, Russia's Gazprom, CNPC of China, National Iran Oil Company (NIOC), Venezuela's PDVSA, Brazil's Petrobras és Petronas of Malaysia – újabban New Seven Sistersnek, Új hét nővérnek is nevezik.

Az iráni olaj államosításának sajátos története van. Mossadegh 1951-ben állami kézbe vette a kőolajipart. A briteket ez kétszeresen is érzékenyen érintette. A rendkívül jövedelmező iráni olajkitermelés elvesztésén túl féltő volt, hogy az államosítás precedenst teremthet a világ más részein működő angol érdekeltségű cégek elleni támadásra. Anglia hazahívta olajipari szakembereit Iránból, arra számítva, hogy ezzel az újonnan alakult Iráni Nemzeti Olajvállalat (NIOC) működését ellehetetleníti, és bojkottot is hirdetett Irán ellen. Ezenkívül amerikai segítséghez is folyamodott. Rövidesen (1953) Teheránba érkezett a Central Intelligence Agency (CIA)<sup>377</sup> közel-keleti szakértője, és fölkereste Zahedi iráni belügyminisztert, akivel közölte, hogy hamarosan miniszterelnök lesz, ha közreműködik Mossadegh félreállításában. Ezután – az úgynevezett Ajax-akció keretében – az iráni titkosrendőrség Mossadeghet elfogta. Visszahozták az Amerika-barát Pahlavi sáhot, és Zahedi lett a miniszterelnök. Ezzel a puccsal azonban mégsem állt vissza az angolok iráni olaj fölötti egyeduralma. Az új iráni kormány több külföldi olajtársasággal kötött egyezményt, amelyben rögzítették, hogy egy amerikai irányítású nemzetközi konzorciumot hoznak létre. Az így létrejött Iranian Oil Participants Ltd. (IOP), tagjai (angol, amerikai, holland és francia társaságok) elismerték, hogy az olajvagyon és a létesítmények iráni tulajdonban maradnak ugyan, de a hasznon fele-fele arányban az IOP a NIOC-cal osztozik. Ez a helyzet az iráni forradalomig (1979) állt fenn, amikor újra Irán lett az egyedüli tulajdonos.

**Az OPEC és az olajsokkok.** Az alacsony közel-keleti olajtermelési költségek lehetősége révén az olajfelhasználás növelése érdekében az olajtársaságok csökkentették az olajárakat. Ennek ellensúlyozására 1960-ban öt ország lét-

<sup>376</sup> A líbiai olajtermelést a Leninnel különleges kapcsolatokat ápoló Armand Hammer az Occidental egykori elnöke és részvényeinek fő tulajdonosa, amerikai milliárdos befektetései alapozták meg.

<sup>377</sup> Ismeretes volt az angol elit körök bevonása az amerikai politikába. Titkosszolgálatuk már a második világháború alatt integrálódtak, és ebben – formai amerikai felsőbbtség mellett – az angol OSS (Office of Strategic Services) fontos szerepet játszott, sőt a háború alatt az integrált angol-amerikai titkosszolgálat csúcsovezetése Londonban székelt. A II. világháború után ebből alakult a CIA

rehozta az OPEC-et.<sup>378</sup> Az államosítások révén a piac ellenőrzése fokozatosan a termelők kezébe ment át. Az OPEC két fő vonalon – az árak uralása és a termelések ellenőrzése révén – érvényesítette akaratát. Az árak egy évtizedig stabilak maradtak, azután változások következtek.

Az izraeli–arab feszültség 1973-ban Egyiptom és Szíria Izrael elleni háborújába torkollott. Az OPEC az Izraelt támogató USA és szövetségesei felé embargót rendelt el (ezzel bizonyította, hogy „működik” az „olajfegyver”), ami az olaj árának nagymértékű megnövekedésében nyilvánult meg és elvezetett az első olajkrízishez. A már elindított tankeret a nyílt tengeren vesztgeltették, hogy húzzák az időt. A nagy tankhajók a Perzsa-öböltől a nyugat-európai kikötőkhöz öt-hat hét alatt teszik meg az utat. Az olajfelhasználó országok (revánsként) ekkor hozták létre a Nemzetközi Energiaügynökséget (IEA), amelynek az volt a rendeltetése, hogy takarékossgal és más energiatípusok igénybevételével csökkentse függőségüket. Az embargóhoz Irán (és Venezuela) nem csatlakozott, így hatalmas jövedelemre tett szert, amelyből azonban a nép alig részesült. 1978-ban tömegdemonstrációk bontakoztak ki Irán-szerte. A sah kénytelen volt elhagyni Iránt, és Egyiptomba távozott. 1979 februárjában Khomeini ajatollah visszatért iraki emigrációjából, és a forradalom élére állt. Létrehozták az Iszlám Köztársaságot, és – amint említettük – újra teljesen saját kézbe került Irán olajipara.

A nemzetközi pénzpiac és egyes olajjal nem rendelkező országok között az 1973. évi olajválság következtében a nemzetközi bankokban elhelyezett – az olajtermelőkhöz az áremelkedések eredményeként befolyt nagy mennyiségű – úgynevezett petrodollár halmozódott fel, ami a bankoknál fokozott pénzkihelyezési kényszert gerjesztett (ez volt a „petrodollar recycling”). Az akkori alacsony kamatú dollárkínálat több országot hitelfelvételre ösztönzött.<sup>379</sup> Később azonban a kamatok jelentős növekedése folytán az adós államoknak nem egyszer törlesztési nehézségeik merültek fel, esedékes kötelezettségeiket csak újabb kölcsönök felvételével tudták teljesíteni, így módon adósságspirál áldozatai lettek. Ez bizonyítja, hogy az olaj az országok gazdasági helyzetét közvetett módon is súlyosan tudja befolyásolni.

A második olajsokk az Irak–Irán közötti háború, illetve az iráni forradalom (1979–1980) termeléscsökkenésével összefüggő árnövekedés következménye volt, ami igénycsökkenést vont maga után. Ugyanakkor az OPEC-en kívüli olajtermelő országokban (Mexikó, Alaszka) termelésnövekedés jelentkezett. Ez, valamint az IEA tevékenysége oda vezetett, hogy egy idő után az olajár emelkedése megállt, sőt 1986-ban ismét jelentősen csökkent: ez volt az „ellensokk”,

<sup>378</sup> A jelenlegi 11 OPEC-ország a következőkből áll: Öböl-mentiek: Szaúd-Arábia, Egyesült Arab Emírségek, Irak, Irán, Kuvait, Katar. Afrikaiak: Algéria, Nigéria, Líbia. Latin-Amerika: Venezuela. Ázsiai: Indonézia.

<sup>379</sup> Többek között Magyarországot is.

amely az OPEC-országokat hátrányosan érintette. Ezért alakították ki a termelési kvótarendszerüket (lásd az 5., 6. és 16. fejezetet!), amely hivatott (volt) az egyes országok túltermelését – ezzel az árak mélyrepülését – kordában tartani.

Egyes vélemények szerint az ellensokkban szerepet játszott az is, hogy az USA gyengíteni akarta a Szovjetuniót olajbevételei csökkentésével is. Ennek érdekében meggyőzte Szaúd-Arábiát, Kuvaitot, valamint az Emírségeket, hogy fokozzák olajtermelésüket, és ezzel mérsékeljék az árakat. Az így előidézett szovjet bevételecsökkenéséhez ráadásul hozzájárult, hogy az orosz szamotlori mezőn 1988-tól kezdődően mérséklődött a termelés.

Az olajért folytatott diplomáciai történéseknek és háborúknak az említettek jellemző, de csak elenyésző részét alkotják.

## A fúziós energia

Hans Bethe<sup>380</sup> német fizikus 1939-ben írta le, hogy miként lehetne a Napban lejátszódó fúziós folyamatot a Földön megvalósítani. Számításai szerint a hidrogénatomok hőmérsékletét legalább 100 millió °C fölé kell emelni, és olyan kis térrészbe összenyomni, hogy az atomok ütközzenek, és hélium jöjjön létre. Az első szabadalom a fúziós reaktorra 1946-ból származik. A két hidrogénizotóp – a deutérium és a trícium<sup>381</sup> – magjainak körülbelül  $10^{-15}$  méter közelségbe kell kerülniük az egyesüléshez, mert akkor válik valószínűvé, hogy a magokat vonzó erős magerő legyőzi az elektromágneses taszítást. Ezt a közelséget a plazmaállapotba<sup>382</sup> hozott keverék erős felhevítésével érik el. A kivitelezés problémája az, hogy nem létezik olyan anyag, amely az említett magas hőmérsékletet elviselné.

A fenntartható fúzió megvalósítására jelenleg két út létezik. Az egyik szerint azt, hogy ne érintkezzen a tárolóedény falával, erős mágneses tér alkalmazásával érik el. A mágneses együtt tartás lehetővé teszi, hogy a 150 millió °C hőmérsékletű plazma a térben lebegjen. Az ITER-ben (International Thermonuclear Experimental Reactor) az első pozitív energiamérlegű fúziót 2016-2020 között remélik megvalósulni a franciaországi Cadarache-ban nem-

<sup>380</sup> Hans Albrecht Bethe (1906–2005) német–amerikai Nobel-díjas fizikus. A fizikai Nobel-díjat 1967-ben kapta a csillagok energiatermelésével kapcsolatos felfedezéseiért. A második világháború alatt az atombomba előállítását végző Manhattan-terv alatt az ő csoportja számolta ki, hogy mekkora az urán-235 kritikus tömege, az a tömeg, amelynél a hasadás elegendő a bomba robbanásához. Bethe haláláig aktív maradt a tudományos életben. 99-dik életévében is lelkesedéssel foglalkozott a szupernóvák matematikájával.

<sup>381</sup> A deutériumhoz korlátlan mennyiségben hozzáférünk, a vízben minden 6500 hidrogénatom közül egy deutérium. A „szereplő” a trícium pedig folyamatosan előállítható/tenyészthető lítiumból. Ezt a feladatot az ipari megvalósítás esetén maga a reaktor látja majd el. Egy idő után a plazmában beáll egy olyan állapot, amikor a keletkező részecskék megoldják a fúzióhoz szükséges hőmérséklet fenntartását.

<sup>382</sup> Magas hőmérsékleten a gázok teljesen ionizálódhatnak. Az ilyen ionizált gáz úgynevezett plazmaállapotba kerül.



zetközi összefogásban folyó kísérletek eredményeként. Azonban az évszázad közepe előtt még siker esetén sem várható az ipari elterjedés. A reakciót kezdetben nem áram termelésére használják majd, hiszen előbb demonstrálni kell a technológia ipari megvalósíthatóságát. A másik lehetséges eljárás az Inertial Confinement Fusion (ICF) módszer lehet. E szerint miniatűr pelletekben elhelyezett tríciumot és deutériumot lézerrel (HiPER)<sup>383</sup> nyomnak össze és melegítenek, aminek következtében megindul a fúzió. A kísérleteket Kaliforniában (a Lawrence Livermore National Laboratoryban) és Franciaországban (Bordeauxban) végzik majd.

A fúziós villamos energia ipari elterjedésére még szerencsés esetben is évtizedeket kell várni. Az angol Culham Centre of Fusion Energy (CCFE) becslése szerint a fúziós bázison termelt villamos energia 2100-ra érhetné el az összes szükséglet 20%-át.

A nukleáris bázisú villamos energián belül a fúziós erőműnek a fissionnal szemben nemcsak a szükséges „tüzelőanyag” gyakorlatilag korlátlan rendelkezésre állása az egyetlen előnye, hanem a biztonság, illetve a környezetvédelmi szempontok érvényesülése is. Alkalmazásakor keletkezik ugyan radioaktív anyag, hiszen a keletkező neutronok képesek aktiválni a szerkezeti elemeket, de ezeket mindössze száz éven át kell elszigetelve tartani. Ez a feladat könnyebben vállalható, mint az, hogy a fissionnal erőművek kis és közepes sugárzású hulladékát 600–1000 évig kell a föld alatt tartani, a nagy aktivitású hulladékokkal kapcsolatban pedig még a legóvatosabb becslések is több tízezer évet említenek.

## A sötét energia

„1970. március 27-én Rubin<sup>384</sup> távcsövét az Androméda-galaxisra irányította. Ellenőrizni szerette volna, hogy az Androméda milliányi csillaga úgy mozog-e, ahogyan az elméletek leírják. A spektográf a csillagokban lévő kémiai elemeknek megfelelő hullámhosszakon vonalakat rajzolt egy papírra, amit Rubin mikroszkópon keresztül vizsgált. Ismert volt számára, hogy a kirajzolt vonalak annak megfelelően eltolódnak följebb vagy lejjebb a frekvenciaskálán, hogy az adott csillag közeledik vagy távolodik-e, a Doppler-hatásnak megfelelően. Rubin kíváncsi volt rá, hogy a Doppler-hatás alapján meg tudja-e határozni a csillagok sebességét a távoli galaxisokban. Azt tapasztalta, hogy az Androméda szélén lévő csillagok is épp olyan gyorsan mozogtak, ahogyan a galaxis közepén lévők. Ez azonban nem felelt meg az elméletekből következő várakozásoknak. Minden más galaxis esetén is hasonló eredményt kapott. Az összes sebesség „hibás” volt.

<sup>383</sup> High Power Laser Energy Research.

<sup>384</sup> Vera Rubin (1928–) litván származású amerikai asztronómus.

A fizika ismert törvényeinek megfelelően ezek a csillagok túl gyorsan mozogtak, jó néhányuk esetén a gravitáció nem lett volna elég, hogy a pályájukon tartsa őket, ki kellett volna repülniük a világuírbe. Ez azonban nem történt meg. Rubin számára két lehetséges ok kínálkozott: Vagy Isaac Newton gravitációs törvényei rosszak, vagy az univerzumban létezik olyan különös anyag, amely a visszahúzó erőért felelős, de a jelen csillagászati eszközökkel nem kimutatható. Rubin a második magyarázatot választotta, és a „föls” anyagot sötét anyagnak nevezte el (mivel nem volt látható, sem kimutatható). Számításai szerint a világegyetem 90%-ban sötét anyagból áll. A tudományos világnak az elmélet elfogadásához egy évtized kellett. A sötét energia létezésének koncepciója szerint a kozmológiában a sötét energia az a feltételezett energiaforma, amely az egész világegyetemben jelen van. A tömegvonzással ellentétes, taszító hatást fejt ki és semlegesíti a gravitációs vonzást – ezáltal távol tartja egymástól a csillaghalmazokat –, és nem bocsát ki észlelhető sugárzást. Ez szolgálhat annak a megfigyelésnek a magyarázatául, hogy a világegyetem tágul. Az elmélet értelmében a kozmoszt a sötét energia uralja, közel háromnegyedét téve ki az univerzumnak. A valamivel kevésbé rejtélyes sötét anyag kevesebb mint egynegyeddel járul hozzá világegyetemünkhöz, míg a „hagyományos” anyag, amely minket, az élőlényeket, a bolygókat és csillagokat alkotja, mindössze 4 százalékot tesz ki.

### A végső kérdések: a világ keletkezése és az élet rejtélye

*Mindennek a magja, ami a világegyetemben valaha történt, abban az egyetlen pillanatban lett elvetve. Az összes csillag, bolygó és élőlény a világegyetemben olyan események eredményeképp jött létre, amelyeket a kozmikus robbanás pillanata indított be... a világegyetem csak úgy berobbant a létezésbe, és nem tudjuk megmagyarázni, hogy mi okozta ezt. – Robert Jastrow<sup>385</sup>*

*A ma rendelkezésre álló összes tudás birtokában lévő tisztességes embernek azt kell állítania, hogy az élet eredete jelenleg csodának tulajdonítható, hiszen olyan sok feltételnek kell egyszerre jelen lennie és együttesen közreműködnie az élet elindulásakor. – Crick<sup>386</sup>*

Az, hogy az univerzum és benne élőlények létrejöhetnek, a valóban végső kérdések közé tartozó dilemmákat veti fel: az ősröbbanását és az élet keletkezéséét. Ezekhez képest az evolúció elmélete viszonylag könnyen megérthető. Ameny-

<sup>385</sup> Robert Jastrow (1925–2008) amerikai asztronómus, fizikus és kozmológus, a Columbia Egyetem tanára, 1958 és 1961 között a NASA osztályigazgatója volt.

<sup>386</sup> Francis Harry Compton Crick (1916–2004) molekuláris biológus. James Dawsonnal közösen Nobel-díjat kapott a DNS kettős spiráljának felfedezéséért.

nyiben helyt adunk a Big Bang-teóriának, a kezdeti végtelen kis pont – az energia? – magában hordozta azt az összes információt, amely az ismert és a nem ismert világot létrehozta.<sup>387</sup>

Kétségtelen, hogy a környező – a Földön kívüli – világról is egyre több ismeretet szerzünk. Szerves vegyületek felfedezhetőek a csillagközi molekuláris porfelhőkben, a meteoritokban és az üstökösökben is. A legegyszerűbb aminosavat, azaz a glicint szintén megtalálták már a világegyetemben. Az üstökösök szerves anyagot szállíthattak a Földre. Ezek a feltételezések/ismeretek azonban messze nem adnak választ az említett két végső kérdésre.

Az élettelen természetben nem fordul elő olyan folyamat, amely szerint spontán lokális entrópiacsökkenés állna be. Az élő szervezetek viszont ilyen folyamatokban léteznek. „Minden élő szervezet egy-egy sziget a növekvő entrópia tengerében” – mondja Neumann János. Az entrópiatörvényt azonban olyan rendszerekre fogalmazták meg, amelyek határfelületein át nem juthat be energia a rendszerbe. A Föld felszíne, ahol az evolúció zajlik, nem tekinthető zárt rendszernek. Például hőenergiát kap a Naptól. Még hozzá annyit, amennyi az életfeltételeket biztosítja. Ha a gravitációs állandó nagyobb lett volna és a Nap magjában a nyomás nagyobb lett volna, fényesebben izzott volna, felforralva a földi tengereket. Ha más természeti állandók, például a fénysebesség, az abszolút nullafok vagy a Planck-állandó bármilyen jelentéktelen változásnak lettek volna alávetve, az univerzumnak nem lett volna esélye, hogy élőlényeknek adjon otthont. Ez a minden képzeletet felülmúló szabályozás feltétel volt az élet kialakulásához. Rees<sup>388</sup> a Csak hat szám. Az univerzumot kialakító erők című könyvében arról ír, hogy hat szám adja egy univerzum „receptjét”. Ha bármelyikük „elhangolódna”, nem létezhetnének sem csillagok, sem élet. Lehetséges-e, hogy összehangoltságuk véletlen egybeesés?

Prigogine<sup>389</sup> az anyag gyökeresen új tulajdonságára – az önstruktúralódás jelenségére – világít rá: létezik valamiféle folyamatos vonal, amelyik összeköti a holt anyagot, az élet előtt állót és az élő. Az anyag, felépülése során abba az irányba hat, hogy szerveződjön és élő anyaggá váljon (de ki ruházta fel ezzel a tulajdonsággal az anyagot?). Ez a feltevés természetesen nem magyarázza, csak elodázza az élet kialakulásának nagy kérdését. Ahhoz, hogy az anyag (energia?) eljusson odáig, hogy a valóban végső kérdésnek nevezhető Nagy Bumm után kiindulásul szolgáljon az élet szerzetlen „alkatrészeiként” a hidrogénen

<sup>387</sup> Természetesen vannak más elképzelések is a világegyetem keletkezésére vonatkozóan, de a tudósok túlnyomó többsége elfogadja ezt az ún. Nagy Bumm-hipotézist. Az élet keletkezését is több elmélet igyekszik magyarázni.

<sup>388</sup> Martin John Rees, (1942–) brit csillagász és kozmológus a Royal Society tagja. 1995 óta királyi csillagász. 2005 és 2010 között a Royal Society elnöke.

<sup>389</sup> Ilya Prigogine (1917–2003) orosz származású belga–amerikai kémikus, volt, aki 1977-ben megkapta a kémiai Nobel-díjat az irreverzibilis termodinamika és a disszipatív struktúrák kutatásában elért eredményeiért.

keresztül a nehézfémekig, „hosszú” utat kellett bejárnia. Bogdanov<sup>390</sup> úgy viszi tovább a gondolatot, hogy ha az anyag állandó fejlődésben van (a rendezettség irányába), az azt sugallja, hogy a világmindenség alapjainál ott rejtőzik egy intelligencia. Az első DNS és az első sejt kialakulásához véletlenek beláthatatlan láncolatára vagy valamilyen tervszerűsége volt szükség.

Ahhoz, hogy illusztráljuk a molekuláris biológia által valamelyest megközelíthető élet rejtélyét, egy sejtet 20 km átmérőjűre kellene felnagyítanunk. Ha sikerülne, egy páratlanul bonyolult és tökéletesen megtervezett rendszer képe tárulna elénk. A sejt felszínén több millió kaput látnánk. Ezek folyamatosan biztosítják, hogy bizonyos anyagok belépjenek a sejtbe, illetve kilépjenek abból. Ha módunkban állna belépni az egyik ilyen kapun, olyan ámulatba ejtően bonyolult rendszerben találnánk magunkat, amelynek „a komplexitása meghaladja gondolkodóképességünket és felszámolja a szerencse fogalmát”. (Denton)<sup>391</sup> És a véletlenek eredményességét is.

A proteinek vagy fehérjék óriásmolekulák, amelyek adott sorrendben, meghatározott mennyiségben és szerkezetben egymáshoz kapcsolódó aminosavak kisebb egységeiből állnak. Ezek a molekulák az élő sejt építőkövei. Közülük a legegyszerűbbek is mintegy 50 fajta aminosavból állnak, de van olyan is, amely több ezerből épül fel. Egyetlenegy aminosav hiánya, hozzáadása vagy kicserélése a fehérjeszerkezetben a proteint használhatatlan molekulahalmazá alakítja. Minden aminosavnak a megfelelő mennyiségben és a megfelelő helyen kell jelen lennie.

Egy átlagos fehérjemolekula 288 aminosavból áll. Ezeket nagyságrendileg 10<sup>300</sup>-féleképpen lehet sorba rendezni. Az összes lehetséges sorrendből csak egyetlenegy adja a „hasznos” molekulát, a többi aminosavlánc hasznavehetetlen, sőt akár káros is az élő szervezet számára. Másként kifejezve, egyetlen fehérjemolekula kialakulásának az esélye: 1 a 10<sup>300</sup>-hoz.<sup>392</sup> Mi több, a 288 aminosavból álló molekula viszonylag szerény méretű a több ezer aminosavból álló „óriásokhoz” képest. Saphiro<sup>393</sup> kiszámolta, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy egy baktériumban megtalálható kb. 2000-féle protein spontán létrejöjjön. Ez a valószínűség 1 a 10<sup>40000</sup>-hez. Az, hogy ez az eset a Földön rendelkezésre állt idő alatt véletlenül bekövetkezzen, gyakorlatilag lehetetlen. Ha hasonló számításokat alkalmazunk az óriásmolekulákra, akkor még a „lehetetlen” szót sem érezzük elégségesnek. Az élet először 3,5 milliárd évvel ezelőtt jelent meg a Földön.<sup>394</sup> Az ezt megelőző egymilliárd évből – a még korábbi időszak szélsőséges viszonyai miatt – csak az utóbbi nagyságrendileg 100 mil-

<sup>390</sup> Igor Bogdanov (1949–) elméleti fizikus.

<sup>391</sup> Michael John Denton (1943–) ausztrál biokémikus.

<sup>392</sup> A matematikában a kisebb, mint 1 a 10<sup>50</sup>-hez valószínűséget zérónak tekintik.

<sup>393</sup> Robert Saphiro (1934–) professzor emeritus a New York Egyetemen.

<sup>394</sup> A Föld korát 4,5 milliárd évre becsülik.

líónyi év szolgálhatta (volna) még az élet legprimitívebb formáinak is a létrejöttét. Ennek az időszaknak a tartama azonban az említett valószínűségek miatt erre nem adhatott esélyt. Ezzel magyarázható, hogy a pánspermia elméletet már nem tekintik egyértelműen spekulációnak, vagy áltudományos nézetnek. A pánspermia szintén nem oldja ugyan meg az élet – valahol történt – kialakulásának a kérdését, de az univerzum kiterjedése révén megnöveli a rendelkezésre álló időt.

Nem könnyen megválaszolható kérdés az univerzum létrejöttének a mi-kéntje (és a célja). Az ősrobbanás-elmélet (Big Bang-teória) szerint a világegyetem mintegy 13,7 milliárd évvel ezelőtt úgy keletkezett, hogy egyetlen (elméleti) pontba összesűritett „semmiből” bukkant föl a világ összes anyaga és energiája. Ámde hogyan történhetett mindez? A világegyetem története korai szakaszának leírása egyike a fizika megoldatlan problémáinak.

A végső kérdések a mai napig megválaszolatlanok.