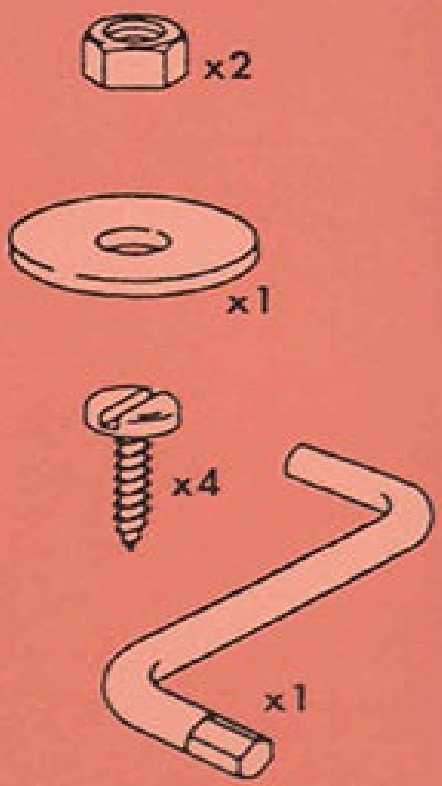
Bill Bryson

Majdnem minden rövid története



Bill Bryson

MAJDNEM MINDEN RÖVID TÖRTÉNETE

Bill Bryson: A Short History of Nearly Everything
Copyright © Bill Bryson, 2003

Fordította: Erdeős Zsuzsanna
Lektorok: Kovács Tibor, Szabados László

Meghannek és Chrisnek. Szívesen.

Szilárd Leó fizikus egyszer kijelentette barátjának, Hans Bethének, hogy azon gondolkodik, nem kellene-e naplót vezetnie.
– Nem jelentetném meg. Csak leírnám a tényeket, tájékoztatásul Istennek.
– Nem gondolod, hogy Isten tisztában van a tényekkel? – kérdezte Bethe.
– De igen – felelte Szilárd. – A tényeket ismeri, de nem ebben a változatban.
Hans Christian von Baeyer: Az atom megszelídítése

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Itt ülök 2003 elején, és nézem az asztalomon tornyosuló megjegyzéseket, amelyekben Ian Tattersall, az Amerikai Természetrajzi Múzeum munkatársa nagylelkűen bátorít, és finoman helyreigazít. Többek között arról, hogy Périgueux nem bortermelő vidék, hogy szokatlan ötlet a nemek és fajok szintje feletti rendszertani megnevezéseket dőlt betűvel írni, hogy következetesen rosszul írtam le az Olorgesailie helységnevet (pedig nemrég jártam ott), és így tovább, két hosszú fejezetről, amelyek az ő szakterületéről: az ősemberről szólnak.

Isten tudja, hogy még hány baklövésem maradt meg a könyvben, de köszönhetően dr. Tattersallnak és a többi kiválóságnak, akit itt említeni fogok, már nem több száz. Nem tudom eléggé megköszönni mindazoknak, akik segítségemre voltak a könyv létrehozásában. Különösen hálás vagyok a következőknek, akik mind kedvesen és hősies türelemmel válaszoltak a kérdésre, amit a legtöbbször feltettem:

– Ne haragudj, még egyszer elmagyaráznád?

Angliában: a londoni Imperial College-ból David Caplin; a Természetrajzi Múzeum munkatársai: Richard Fortey, Len Ellis és Kathy Way; a londoni University College-ból Martin Raff; az oxfordi Biológiai Antropológiai Intézet munkatársa: Rosalind Harding; dr. Laurence Smaje, aki korábban a Wellcome Intézetben dolgozott és a The Times újságírója, Keith Blackmore.

Az Egyesült Államokban: a New Yorki Amerikai Természetrajzi Múzeumból Ian Tattersall; a hanoveri (New Hampshire) Dartmouth College-ból John Thorstensen, Mary K. Hudson és David Blanchflower; a lebanoni (New Hampshire állam) Dartmouth-Hitchcock Orvosi Központból dr. William Abdu és dr. Bryan Marsh; az Iowa City-beli Iowai Természetes Erőforrások Intézetéből Ray Anderson és Brian Witzke; Mike Voorhies, a Nebraskai Egyetem és a nebraskai Orchard közelében lévő Ashfall Őskövület Nemzeti Park munkatársa; Chuck Offenburger, a Storm Lake-i (Iowa állam) Buena Vista Egyetemről; Ken Rancourt kutatási igazgató a gorhami (New Hampshire állam) Mount Washington csillagvizsgálóból; a Yellowstone Nemzeti Park munkatársai: Paul Doss geológus és felesége, Heidi; Frank Asaro a kaliforniai Berkeley Egyetem telephelyéről; Oliver Payne és Lynn Addison, a *National Geographic Society* munkatársai; James O. Farlow az indianai Purdue Egyetemről; Roger L. Larson, a tengeri geofizika professzora a Rhode Island Egyetemről; Jeff Guinn, a Fort Worth-i Star-Telegram újságírója; Jerry Kasten a texasi Dallasból; és a Des Moines-i Iowai Történelmi Társaság tagjai.

Ausztrália: a hazelbrooki (Új Dél-Wales állam) Robert Evans tiszteletes úr; dr. Jill Cainey, az Ausztrál Meteorológiai Hivataltól; Alan Thorne és Victoria Bennett, a canberrai Ausztráliai Nemzeti Egyetemről; Louise Burke és John Hawley Canberrából; Anne Milne, a Sydney Morning Herald újságírója; Ian Nowak, aki korábban a Nyugat-Ausztráliai Geológiai Társaságban dolgozott; Thomas H. Rich, a Victoria Múzeum munkatársa; Tim Flannery, az adelaide-i Dél-Ausztráliai Múzeum igazgatója; Natalie Papworth és Alan MacFadyen, a hobarti Királyi Tasmaniai Botanikus Kertektől és a sydneyi Új Dél-Wales-i Állami Könyvtár különlegesen segítőkész munkatársai.

És máshol: Sue Superville, a wellingtoni Új-Zélandi Múzeum tájékoztató központjának vezetője; dr. Emma Mbua, dr. Koen Maes és Jillani Ngalla, a Nairobi Kenyai Nemzeti Múzeum munkatársai.

Mélyen és többszörösen hálás vagyok a következőknek: Patrick Janson-Smith, Gerald Howard, Marianne Velmans, Alison Tulett, Gillian Somerscales, Larry Finlay, Steve Rubin, Jed Mattes, Carol

Heaton, Charles Elliott, David Bryson, Felicity Bryson, Dan McLean, Nick Southern, Gerald Engelbretsen, Patrick Gallagher, Larry Ashmead, továbbá a páratlan és örökvidám hanoveri (New Hampshire állam) Howe könyvtár összes dolgozójának.

Mindenekfölött, és mint mindig, legmélyebb köszönetem kedves, türelmes és utolérhetetlen feleségemnek, Cynthiának.

BEVEZETÉS

Üdvözlöm az olvasót. És gratulálok. Örülök, hogy találkozunk. Tudom, hogy nem volt könnyű idáig eljutni. Sőt, azt hiszem, nehezebb volt, mint ahogyan azt az olvasó képzelné.

Kezdjük azzal, hogy ahhoz, hogy ön most itt legyen, atomok billióinak kellett véletlenszerű mozgásuk során egy olyan nagy szívességet tenniük, hogy elfoglalják azt a bonyolult helyzetet, amely önt alkotja. Egy olyan elrendeződésről beszélek itt, ami olyan egyedi és különleges, hogy ön előtt soha nem létezett, és többé nem is fog. A következő jó néhány év során – legalábbis reményeink szerint – ezek a kis részecskék egy zokszó nélkül meg fogják tenni azt az ügyes, egymással a legnagyobb együttműködést igénylő erőfeszítést, ami az ön személyének megőrzéséhez kell, és ami lehetővé teszi, hogy megtapasztalja azt az igen kellemes, ám általában eléggé nem becsült állapotot, amelyet létezésnek hívunk.

Nagy rejtély, hogy az atomoknak ez miért éri meg. Az ön részének lenni nem okoz túl nagy örömöt – legalábbis atomi szinten. Bár az atomok pontosan tudják, hogyan kell viselkedniük, ez nem az ön kedvéért történik, sőt, azt sem tudják, hogy ön létezik. Sőt, a saját létezésükkel sincsenek tisztában. Elvégre csak buta részecskék; még csak nem is élnek. (Némiképpen figyelmet érdemlő gondolat, hogy ha az olvasó egy csipesszel atomjaira szedné magát, egy kupac finom atomport kapna, aminek egyetlen része sem él, pedig egykor mind az ön részét képezte.) De valamiképpen, az olvasó létezésének idejére, az atomok mindenekfelett egyetlen cél szerint működnek: hogy ön saját maga maradjon.

Van azonban rossz hírünk is: az atom ingatag, hűsége múló – múlékony, mint maga az ember. Még egy nagyon hosszú emberi élet is csak kb. 650 000 órán át tart. És amikor túljutunk ezen a szerény mérföldkövön, atomjaink ismeretlen okokból kikapcsolnak minket, szép csöndben szétválnak egymásból, és más dolgokká állnak össze. Ennyi.

Azért persze örülhetünk, hogy egyáltalán sor került ránk. A világegyetem más helyein, amennyire tudjuk, ez nem történik meg. És ez határozottan különös, mert a Földön ugyanolyan atomok állnak össze saját jószántukból, hogy élőlényeket alkossanak, amilyeneknek máshol ez eszébe sem jut. Máshol ez nem így van, de a kémia szintjén az élet furcsán egyszerű: szén, hidrogén, oxigén és nitrogén, egy kis kalcium, egy csipet kén, leheletnyi más közönséges elem – semmi olyan, amit ne tartanának egy rendes patikában – és más nem is kell. Az önt alkotó atomoknak csak egy különleges tulajdonsága van: hogy éppen önt alkotják. És ez az élet csodája.

Lehet, hogy az atomokból nem keletkezik élet a világegyetem más részein, de minden más belőlük lesz. Nélkülük nem lenne víz, levegő vagy kövek, csillagok vagy bolygók, távoli gázfelhők vagy örvénylő csillagködök, és semmi más, ami a világegyetemet ilyen hasznos dologgá teszi. Olyan sok atom van, és annyira szükség van rájuk, hogy könnyen elfelejthetjük, hogy létezésük nem szükségszerű. Egy törvény sem mondja ki, hogy a világegyetemet apró anyagszemcséknek kell kitölteniük, vagy hogy lennie kell fénynek, gravitációnak és azoknak a megszokott fizikai jelenségeknek, amelyeken az életünk alapul. Még csak világegyetemnek sem kell lennie. Sokáig nem is volt. Nem voltak atomok, és nem volt világegyetem, amiben úszkálhattak volna. Semmi nem volt – sehol semmi.

Tehát szerencse, hogy vannak atomok. De az, hogy vannak, és hogy éppen úgy álltak össze, hogy ön megszületett, még nem indokolja, hogy most éppen miért itt van. Ahhoz, hogy valaki éppen a huszonegyedik században éljen, és elég esze legyen hozzá, hogy ezt tudja is, biológiai értelemben hihetetlenül szerencsésnek kell lennie. A Földön a túlélés meglepően nehéz ügy. Az idők kezdete óta létezett

sok milliárd faj közül a legtöbb – 99,99% – már nincsen köztünk. Az élet a Földön ezek szerint nem csak rövid, de kétségbeejtően bizonytalan is. Létezésünk furcsa vonása, hogy olyan bolygón élünk, amely nemcsak az élet megteremtésében, de annak kioltásában is jeleskedik.

Az átlagos földi faj körülbelül négymillió évig marad fenn; ha valaki több milliárd évig fenn kívánna maradni, olyannak kellene lennie, mint az őt alkotó atomoknak. Minden tulajdonságát meg kellene változtatnia: az alakját, a méretét, a színét, más fajhoz kellene tartoznia – és mindezeket és még több jellemzőjét folyamatosan kellene változtatnia. Ezt könnyű kimondani, de nehéz megtenni, mert a változási folyamatok véletlenszerűen történnek. Ahhoz, hogy egy „ősi protoplazmikus atomi gömböcskéből" (idézet Gilbert és Sullivan egy dalából) értelmes, két lábon járó mai ember váljon, újabb és újabb sajátosságokat kell magában kifejlesztenie, méghozzá pontosan időzítve, és roppant hosszú időn keresztül. Az utóbbi 3,8 milliárd év során különböző korszakok váltakoztak. Néha el kellett kerülnie az oxigént, más alkalommal nem élhetett nélküle. Egyszer uszonyt növesztett, máskor végtagokat vagy vitorlát, volt, hogy tojást költött ki, és volt, hogy hosszú, villás nyelvét messzire kiöltötte. Bizonyos korszakban nyálkás volt, másokban szőrös, élt a föld alatt és a fákon, egyszer akkora volt, mint egy szarvas, másszor kisebb, mint egy egér, és még hosszan folytathatnánk. És ha ezen evolúciós állomásokon nem éppen a megfelelő ütemezésben haladt volna át, lehet, hogy most algát nyalna egy barlang faláról, vagy rozmárként henyélne egy köves parton, vagy vizet lövellne ki a fején lévő nyíláson, mielőtt húsz méter mélyre bukna, hogy csemegézzen egyet a tengeri homoki férgekből.

Az olvasó nemcsak azért szerencsés, mert emberemlékezetnél is régebb óta nem tért le a megfelelő evolúciós útról, de azért is, mert személyes ősei különlegesen – mondhatni, csodásan – szerencsések voltak. Gondoljon csak bele, hogy 3,8 milliárd éven keresztül, tehát régebb óta, mint amikor a földi hegyek, folyók és óceánok kialakultak, mindkét oldali összes őse elég vonzó volt ahhoz, hogy párt találjon magának, elég egészséges volt az utód létrehozásához, és a sors vagy a körülmények különös kegyelméből meg is érték azt az életkort, amikor utódot hozhattak létre. Talpraesett ősei egyikét sem lapították szét, ették meg, nem fulladt meg, nem halt éhhalált, nem futott zátonyra és nem ragadt be sehová, és nem szenvedett más súlyos sérülést sem, ami megakadályozhatta volna, hogy teljesítse küldetését: továbbadni egy icipici örökítő anyagot a megfelelő partnernek a megfelelő pillanatban ahhoz, hogy tovább folytatódjon az öröklött tulajdonságoknak pontosan az az egyetlen lehetséges láncolata, amelynek eredménye – végül, csodálatos módon, de sajnos csak rövid időre – az olvasó.

A könyv arról szól, hogy ez hogyan történhetett meg – hogy hogyan lettünk a semmiből valami, és hogy ez a valami hogyan lett ember, és abba is belepillantunk, hogy közben és azóta mi történt. Ez persze nagyon is sok, ezért választottam a *Majdnem minden rövid története* címet, bár természetesen nem tudok eleget tenni a címben tett ígéretnek. Nem is lehet. De ha szerencsénk van, a könyv végére kialakulhat egy olyan érzésünk, hogy mindenről beszéltünk.

Kiindulópontom a negyedik vagy ötödik osztályos, képes környezetismeret-könyvem volt. A könyv az 1950-es évek törzsanyagát tárgyalta. Sok kézen ment már keresztül, és ez meg is látszott rajta. Nem sokan szerették; kegyetlenül súlyos volt. De az eleje felé volt egy ábra, ami elvarázsolt: a Föld belsejének elképzelt képe, mintha valaki egy nagy késsel szépen kivágott volna egy, az egynegyedének megfelelő cikket belőle.

Ma már nehéz elképzelni, hogy volt idő, amikor még nem láttam efféle ábrázolást, de biztos, hogy ez volt az első, mert élesen emlékszem az elképedésemre. Be kell vallanom, hogy először azon gon-

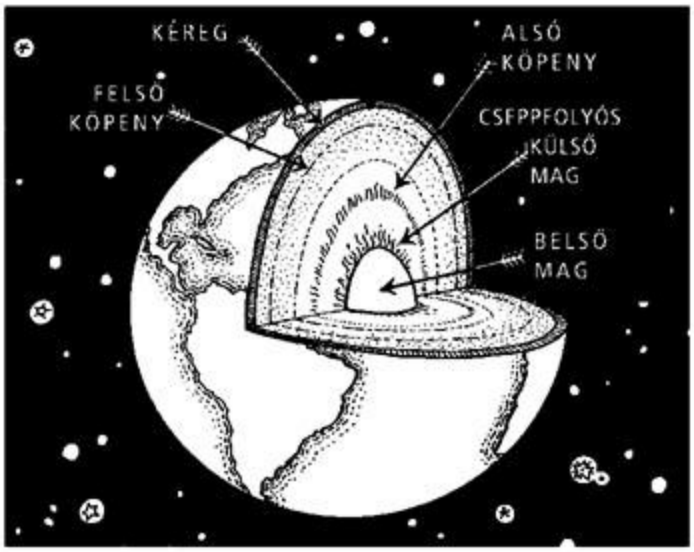
dolkodtam, vajon mi lesz azokkal a gyanútlan, kelet felé haladó autósokkal, akik elé az amerikai alföldeken haladtukban egyszer csak egy, Közép-Amerika és az Északi-sark között húzódó, 6500 kilométer hosszú kőszirt tornyosul. De hamarosan a gondolataim már a dolog tudományos jelentősége felé terelődtek, és felfogtam, hogy a Föld különálló rétegekből áll, amelyek közepén egy izzó vasból és nikkelből álló gömb van, ami olyan forró, mint a Nap felülete (legalábbis ez volt a kép alá írva). Emlékszem, hogy leginkább a következő kérdés foglalkoztatott: „Honnan tudják?"

Egy pillanatig sem kételkedtem benne, hogy a dolgok úgy állnak, ahogyan a tankönyvben olvasható – mind a mai napig megbízom a tudósok állításaiban, csakúgy, mint az orvosok, vízvezeték-szerelők és más olyan szakértők véleményében, akik kiváltságos birtokosai egy számomra misztikus tudásnak – de el sem tudtam képzelni, hogy az emberi agy hogyan képes annak megállapítására, hogy mi van alattunk több ezer kilométerre – hiszen nem látunk oda, még röntgennel sem –, és hogy az a valami ott miből van. Számomra mindez maga volt a csoda. Még ma is ezen az álláspontom vagyok a tudománnyal kapcsolatban.

Amikor megkaptam az új tankönyvet, annyira érdekelt, hogy otthon még vacsora előtt elővettem – anyám rögtön a homlokomat tapogatta, és megkérdezte, jól vagyok-e – és elkezdtem olvasni az első oldaltól.

És csalódtam. A könyv egyáltalán nem volt izgalmas. Sőt, érthetetlen volt. És főleg: nem válaszolta meg azokat a kérdéseket, amelyek egy átlagos kíváncsiságú olvasóban felmerülnek: Hogyan került egy nap a bolygónk közepére? Ha ott középen ég valami, miért nem égeti meg a talaj a lábunkat? És miért nem olvad meg a Föld belsejének a többi része – vagy mégis megolvad? És amikor a központi mag már elégett, lehet, hogy Föld egy része beomlik a keletkezett ürességbe, és hatalmas kráter keletkezik? És mindezt honnan tudják? Hogyan jöttek rá?

De a szerző különösképpen hallgatott ezekről a részletekről, mint ahogy minden egyéb érdekességről is; ehelyett állandóan antiklinálisokat, szinklinálisokat, vetődéseket és más ilyeneket emlegetett. Mintha szándékosan elérhetetlen mélységben, titokban akarta volna tartani az igazán érdekes dolgokat. Ahogy teltek az évek, rájöttem, hogy ez nem csak eme bizonyos tankönyv írójának volt a specialitása. Mintha mindannyian egy titkos szövetség tagjai lettek volna, akik fogadalmat tettek, hogy a tananyag soha nem kerülhet túl közel a kicsit is érthető dolgok világához, az egészen érdekes tudás földjétől pedig legalább háromnapi járóföldre kell maradnia.



Ma már tudom, hogy sok tudós van, aki képes ragyogó, izgalmas művek megírására – Timothy Ferris, Richard Fortey és Tim Flannery például, hogy csak „F" betűsöket említsek (és akkor még nem említettem a néhai félistent, Richard Feynmant) –, de sajnos én nem az ő tankönyveikből tanultam. Az enyémeket olyan férfiak (mindig csak férfiak!) írták, akiknek az volt a különleges rögeszméjük, hogy minden világos lesz, ha képlettel fejezzük ki, és mereven ragaszkodtak ahhoz a mulatságos, de nem feltétlenül helyes elképzelésükhöz, hogy akkor járnak kedvében az amerikai tanulóifjúságnak, ha minden egyes fejezet végén egy csomó megválaszolatlan kérdés vetődik fel, amelyeken ők majd eltöprenghetnek a szabad idejükben. Abban a meggyőződésben nőttem tehát fel, hogy a természettudományok rettenetesen unalmasak, de gyanakodtam azért, hogy nem szükségszerű, hogy azok legyenek; legszívesebben azonban egyáltalán nem gondoltam rájuk. És ez is sokáig így maradt.

Utána – sokkal később, négy vagy öt éve – egy hosszú repülőút során, a holdsütötte Csendes-óceánt bámultam az ablakból, amikor eszembe jutott, hogy tulajdonképpen semmit nem tudok az egyetlen bolygóról, ahol valaha is élni fogok. Ez a zavaró gondolat gyökeret vert bennem. Nem tudtam például, hogy miért sós az óceán, ha az amerikai Nagy-tavak nem sósak. Fogalmam sem volt róla. Nem tudtam, hogy az idő múlásával az óceánok még sósabbak vagy sótlanabbak lesznek, és hogy engem érint-e az óceánok sótartalma. (Örömmel közölhetem, hogy az 1970-es évek végéig az ezzel foglalkozó tudósok sem tudták megválaszolni ezeket a kérdéseket, ezért nem is nagyon beszéltek róluk.)

És az óceánok sós mivolta csak egy kis tudásforgács abból a hatalmas tényanyagból, amiből semmit nem tudok. Nem tudtam, mi a proton vagy a protein, nem tudtam, mi a különbség egy kvark és egy kvazár között, nem értettem, hogy a geológusok hogyan tudják megmondani egy szurdok falán látható sziklaréteg alapján, hogy az milyen régi – szóval semmit nem tudtam. Csendes, szokatlan belső kényszert éreztem, hogy megtudjak valamit ezekről a dolgokról, és arról, hogy mások hogyan jöttek rá a tényekre. Számomra még mindig ez a legnagyobb rejtély: hogyan jönnek rá a tudósok a dolgokra? Honnan tudja bárki is, mekkora a Föld tömege, milyen régiek a sziklái, és valójában mi is van a középpontjában? Honnan tudják, hogy a világegyetem hogyan és mikor kezdődött, és milyen volt akkor régen? Honnan tudják, mi történik egy atom belsejében? És legfőképpen: hogy lehet, hogy a tudósok szinte mindent tudnak, de nem tudják előre jelezni a földrengést, sőt azt sem tudják teljes biztonsággal megmondani nekünk, hogy a jövő szerdai meccsre vigyünk-e esernyőt magunkkal?

Úgy döntöttem tehát, hogy életem egy részét – három évet, amint ez kiderült – arra áldozom, hogy a témába vágó könyveket és folyóiratokat olvasok, és olyan szent életű, türelmes szakértőket keresek, akik készek megválaszolni különlegesen ostoba kérdéseimet, és hogy végre megfelelően méltányolom – álmélkodom rajta, sőt élvezem is – a természettudományok csodáit és elért eredményeit a magam szintjén: olyan szinten, ami nem szárazon tudományos, és nem igényel túlságosan nagy erőfeszítéseket, viszont nem is teljesen felszínes.

Ez volt az elképzelésem, és azt remélem, hogy a következő könyv ilyen lett. De mivel sok mindenről kell még beszélnünk, és sokkal kevesebb, mint 650 000 óránk van a dologra, vágjunk is bele.

I.
VALAHOL A KOZMOSZBAN

Mind egy síkban vannak. Mind ugyanarra keringenek... Látod, tökéletes. Káprázatos. Szinte hátborzongató.
Geoffrey Marcy csillagász a Naprendszerről

1.
HOGYAN ÉPÍTSÜNK VILÁGEGYETEMET

Bármilyen keményen próbáljuk, soha nem fogjuk tudni elképzelni, hogy mennyire kicsi, a térből milyen jelentéktelen helyet foglal el egy proton. Túl kicsi.

A proton az önmagában is apró atom parányi darabkája. A protonok olyan kicsik, hogy egy kis tintapacába, mint például ezen az „i” betűn a pont, körülbelül 500 000 000 000 férne el, vagyis több mint amennyi másodpercből áll félmillió év. Tehát a protonok szerfelett mikroszkopikusak, és ezzel még semmit nem mondtunk.

Most képzeljük el, ha tudjuk (nem tudjuk), hogy egy ilyen protont milliárdod részére zsugorítunk egy olyan kis helyre, hogy a többi proton ahhoz képest hatalmasnak látszódjék. És pakoljunk ebbe a picike térbe néhány dekagramm anyagot. Kiváló. Készen állunk egy világegyetem létrehozására.

Feltételeztem persze, hogy felfúvódó világegyetem létrehozására készülünk. Ha inkább ódivatú ősrobbanásosra vágyunk, más anyagokra is szükségünk lesz. Sőt, tulajdonképpen mindenre, ami van – minden kis anyagparányra és részecskére innentől a teremtett világ széléig – és ezt kellene egy olyan végtelenül kicsi részbe összeszorítani, aminek már nincs is mérete. Az utóbbi pont neve: szingularitás.

Bármelyik módszert választottuk, jöhet az ősrobbanás. Természetesen nem árt biztos fedezékbe húzódni, ahonnan mindent jól láthatunk. Sajnos ilyen helyet nem fogunk találni, mert a szingularitáson kívül semmi nincs. Amikor a világegyetem tágulni kezd, azt nem úgy kell elképzelni, hogy kiterjeszkedik valamiféle meglévő ürességbe. A térnek ugyanis csak az a része létezik, amelyet a szingularitás tágulása hoz létre.

Természetesen adódó, de hibás gondolatmenet a szingularitásra mint valamiféle jelentőségteljes pontra gondolni a sötét, határtalan ürességben, hiszen nincsen tér vagy sötétség. A szingularitás körül nincs semmi. Nem foglal el teret, mert nincs mit elfoglalnia. Azt sem kérdezhetjük, mióta létezett, hogy egyszer csak előbukkant, mint egy jó ötlet, vagy hogy mindig is ott volt, és csendben várta a megfelelő pillanatot. Az idő ugyanis még nem létezik. A szingularitásnak nincs múltja.

Világegyetemünk tehát így keletkezik: a semmiből.

Egyetlen vakító robbanás, egy dicsőséges, kimondhatatlanul rövid és hatalmas pillanat, és a szingularitásból elképzelhetetlen, csillagászati méretek lesznek. Az első mozgalmas másodperc során (ez az a másodperc, amelynek minél finomabb felosztására szentelte már több kozmológus az életét) létrejön a gravitáció és a fizikában ismert többi erő. Kevesebb, mint egy perc múlva a világegyetem már milliószor milliárd kilométer átmérőjű, és gyorsan növekszik. Rettenetes forróság van, tízmilliárd fok, ami elég a könnyebb elemek létrehozásához szükséges nukleáris reakciók elindításához. Ezek elsősorban a hidrogén és a hélium, és egy kevés (százmillió atom közül egy) lítium. Három perc múlva az összes anyagnak, ami valaha is keletkezni fog, már a 98 százaléka létrejött. Készen áll a világegyetem. Csodálatos és örömteli lehetőségeket rejtő, gyönyörű hely. És elkészítése nem tartott tovább, mint egy szendvicsé.

Hogy ez pontosan mikor történt, arról még vitatkoznak. A kozmológusok régi problémája, hogy vajon tíz- vagy húszmilliárd éve, vagy valamikor máskor ezek között a határok között. Mostanában úgy tűnik, hogy egyre többen megegyeznek abban, hogy a vitatott időpont körülbelül 13,7 milliárd éve le-

hetett, de ezeket a dolgokat sajnos közismerten nehéz megmérni, ahogyan majd látni fogjuk. Csak annyit állíthatunk, hogy a távoli múlt egy bizonytalan pontján ismeretlen okból bekövetkezett az a pillanat, amelyet a tudósok a t = 0 kifejezéssel jelölnek. Ez lett a kezdőpont.

Persze sok mindent nem tudunk, és amiről azt hisszük, hogy tudjuk, azt sem régóta. Még az ősrobbanás elmélete is viszonylag új. A gondolat az 1920-as évekből ered, amikor Georges Lemaître, belga pap és tudós először próbálkozott az elmélet felvetésével, de egészen az 1960-as évek közepéig nem vált a kozmológia részévé. Ekkor azonban két fiatal rádiócsillagász rendkívüli, de véletlen felfedezést tett.

Nevük Arno Penzias és Robert Wilson. 1965-ben megpróbálták felhasználni a holmdeli (New Jersey állam) Bell Laboratórium egyik nagy távközlési antennáját, de zavarta őket a folytonos háttérzaj – egy állandó sziszegés, amely hasonlított ahhoz, amikor gőz távozik valahonnan. A zaj miatt nem tudták folytatni a megkezdett kísérletüket. A hang könyörtelenül szólt tovább, és forrását nem lehetett megállapítani. Az égbolt minden pontja felől jött, éjjel-nappal, minden évszakban. A két ifjú csillagász egy éven keresztül mindent megtett, hogy megtalálja és hatástalanítsa a zaj forrását. Megvizsgáltak a közelben minden elektromos rendszert. Újra elkészítették műszereiket, ellenőrizték az áramköreiket, drótokat csavartak és csatlakozókat portalanítottak. Belemásztak az antenna tányérjába, és leszigeteltek minden varratot és szegecset. Visszamásztak az antennába, és seprűvel meg súrolókefével megtisztították attól az anyagtól, amelyre későbbi cikkükben mint „fehér dielektromos anyagra” hivatkoznak (közönséges neve: madárürülék). De a zaj nem szűnt meg.

Nem tudták, hogy tőlük alig ötven kilométerre, a Princeton Egyetemen egy Robert Dicke vezette tudóscsoport éppen azt keresi, amitől ők olyan szorgalmasan igyekszenek megszabadulni. A princetoni kutatóknak az volt a feltételezése, ami az 1940-es években az orosz származású George Gamow asztrofizikusnak: ha elég mélyre nézünk az űrbe, megtaláljuk az ősrobbanásból származó háttérsugárzás nyomait. Gamow úgy számította, hogy mire ez a feltételezett sugárzás áthalad a rettentő kozmoszon, és eléri a Földet, mikrohullámú sugárzássá alakul. Egy későbbi cikkében még javaslatot is tett egy műszerre, amivel a sugárzást ki lehetne mutatni: ez volt a holmdeli Bell-antenna. Sajnos azonban sem Penzias, sem Wilson, de még a princetoni csoport egyetlen tagja sem olvasta Gamow tanulmányát.

A Penzias és Wilson által észlelt zaj természetesen az volt, amit Gamow feltételezett. Tehát megtalálták a világegyetem szélét, vagy legalábbis annak látható részét, tőlünk 150 milliárdszor billió kilométerre. Az első fotonokat „látták” – a legősibb fényt, ami a világegyetemben létezett – olyan nagy távolságon és időn át, hogy azok közben mikrohullámokká váltak, ami teljesen megfelel Gamow elméletének. Alan Guth *A felfúvódó világegyetem* című könyvében egy hasonlattal élt, ami talán jobban megvilágítja az említett felfedezés jelentőségét. Ha úgy gondolunk arra, hogy a világegyetem mélyére tekintünk, mintha lenéznénk az Empire State Building századik emeletéről (ahol a századik emelet a jelen, az utcaszint pedig az ősrobbanás), akkor azok a legtávolabbi galaxisok, amelyeket Wilson és Penzias idejében ismertek, a hatvanadik emeletet foglalnák el, a legtávolabbi egyéb dolgok (a kvazárok) a huszadikat. Penzias és Wilson felfedezésével az általunk látható világegyetem határa pár centiméterrel a bejárati küszöb fölé került.

Amikor Wilsonnak és Penziasnak nem sikerült megtalálnia a zaj forrását, végül felhívták Dicket Princetonban, és ismertették vele a problémájukat, mert reménykedtek, hogy ő majd segít a megoldásban. Dicke azonnal tudta, hogy a két fiatalember mit talált. – Nos, fiúk, maguk éppen most előztek meg minket – mondta kollégáinak, és letette a telefont.

Nem sokkal később két cikk jelent meg az *Astrophysical Journal*ben: az egyikben Penzias és Wil-

son írta le kalandját a furcsa sziszegéssel, a másikban Dicke munkatársai magyarázták meg a hang természetét. Bár Penzias és Wilson egyáltalán nem kereste a kozmikus háttérsugárzás jeleit, és nem is ismerték fel, amikor találkoztak vele, sőt nem írták le vagy magyarázták meg tulajdonságait egyetlen tanulmányban sem, mégis megkapták az 1978-as fizikai Nobel-díjat. A princetoni kutatók viszont csak részvétnyilvánításokat fogadhattak. Dennis Overbye azt írja *A kozmosz magányos szívei*ben, hogy sem Penzias, sem Wilson nem értette teljes mélységében felfedezésük jelentőségét, amíg nem olvastak róla a *New York Times*ban.

A kozmikus háttérsugárzás zavaró hatását egyébként már mindannyian tapasztalhattuk. Amikor a televíziót egy olyan csatornára kapcsoljuk, ahol éppen nincsen adás, a képernyőn táncoló jelek közül körülbelül minden századikat az ősrobbanás e távoli utódja okozza. Legközelebb, amikor mérgelődünk, hogy nincs semmi műsor a tévében, jusson eszünkbe, hogy bármikor megnézhetjük viszont a világegyetem születését.

Bár a kezdő lökést mindenki ősrobbanásnak (Big Bang, Nagy Bumm) nevezi, a témával foglalkozó könyvek felhívják a figyelmet, hogy ne gondoljunk saját fogalmaink szerinti robbanásra. Inkább hatalmas, villámgyors tágulást képzeljünk el. De vajon mi okozta ezt?

Az egyik elmélet szerint a szingularitás egy korábbi, összeomlott világegyetem maradványa volt – tehát világegyetemünk csak egy az újra kitáguló és összeomló világegyetemek végtelen sorában. Mások szerint az ősrobbanást egy „hamis vákuum", „skalártér" vagy „vákuumenergia" idézte elő – egy olyan valami, ami a korábban lévő semmihez képest instabilitást okozott. Lehetetlennek tűnik, hogy a semmiből valami keletkezzék, de tény, hogy egykor semmi nem volt, most pedig van egy világegyetemünk, és ez elég bizonyíték. Lehet, hogy a világegyetem más világegyetemek része, amelyek esetleg más dimenziókban léteznek, és valahol mindig történik egy-egy ősrobbanás. Az is lehetséges, hogy a tér és az idő egészen másféle volt az ősrobbanás előtt – valami olyan, amit el sem tudunk képzelni – és az ősrobbanás valamiféle átmeneti fázis, amelynek során a világegyetem eme számunkra elképzelhetetlen alakjából átváltozott a maira, amelyet majdnem értünk.

– Ezek már majdnem vallási kérdések – nyilatkozta dr. Andrei Linde stanfordi kozmológus a New York Timesnak 2001-ben.

Az ősrobbanás elméletének nagy része nem magáról a robbanásról, hanem az azt követő eseményekről szól. Az azt közvetlenül követő eseményekről. A tudósok hosszasan tanulmányozták a részecskegyorsítókban végbemenő történéseket, és sok számítgatás után azt állítják, hogy nyilatkozni tudnak a világegyetemnek arról az állapotáról, amelyben az 10^{-43} másodperccel az ősrobbanás után volt – egy olyan pici világegyetemről, ami csak mikroszkóppal lett volna látható. Nem kell elájulnunk mindenféle hatalmas vagy végtelenül kicsi számtól, de azért néha érdemes belegondolni egy-egy ilyen furcsa adatba. Tehát 10^{-43} = 0,0000000000000000000000000000000000000001, más szóval a másodperc tízmilliomod része trilliomod részének a trilliomod részének a trilliomoda.[1]

A korai világegyetemről szerzett vagy feltételezett tudásunk legnagyobb része a felfúvódási elméletből következik. Az elmélet 1979-ből, Alan Guthtól származik, aki akkor a Stanfordi Egyetemen volt tanársegéd a részecskefizika tanszéken (most az MIT-n dolgozik). Guth ekkor harminckét éves volt, és saját bevallása szerint, addig semmi nagy dolgot nem vitt véghez. Valószínűleg soha nem alkotta volna meg nagy jelentőségű elméletét, ha véletlenül nem vett volna részt egy, az ősrobbanásról szóló előadáson, amelyet éppen Robert Dicke tartott. Az előadás hatására Guth elkezdett kozmológiával foglalkozni, azon belül is a világegyetem születésével.

Ennek a végeredménye lett a felfúvódási elmélet, amely szerint a létrejötte után egy töredék pilla-

nattal a világegyetem hirtelen drámai módon kitágult. Hihetetlen sebességgel fúvódott fel: méretét 10^{-34} másodpercenként megkétszerezve. Az egész valószínűleg nem tartott tovább 10^{-30} másodpercnél, vagyis a másodperc egymillió millió millió milliomodánál, de ezalatt a világegyetem egy olyan valamiből, ami elférne a tenyerünkben, egy legalább 10 000 000 000 000 000 000 000 000-szor akkora valamivé lett. A felfúvódási elmélet segítségével megmagyarázhatók a világegyetemünket lehetővé tevő egyenetlenségek. Nélküle viszont nem lennének anyagcsomók, tehát csillagok sem, csak kavargó gáz és örök sötétség.

Guth elmélete szerint egy másodperc tízmilliomod részének a trilliomod részének a trilliomod részének a trilliomodával a felfúvódás kezdete után megjelent a gravitáció. Nevetségesen röviddel később már volt elektromágnesség, valamint erős és gyenge kölcsönhatás (magerő) – az elméleti fizikusok belügye. Még egy kicsit később elkészültek az első elemi részecskék – és ez már közügy, bár a fizika része. A semmiből egyszer csak előugrott a rengeteg foton, proton, elektron, neutron és a többi – mindegyikből 10^{79} és 10^{89} közötti számú, legalábbis az ősrobbanási elmélet standard modellje szerint.

Ezeket a mennyiségeket persze képtelenség felfogni. Elég annyit tudnunk, hogy egy pillanat tört része alatt kaptunk egy hatalmas (az elmélet szerint legalább százmilliárd fényév átmérőjű, de lehet, hogy végtelen nagy) világegyetemet, ami tökéletesen fel volt készülve a csillagok, galaxisok és más bonyolult rendszerek létrehozására.

Az a legkülönösebb, hogy a dolog a mi szempontunkból kitűnően sikerült. Ha a világegyetem csak egy icipicit másmilyen lett volna – például, ha a gravitáció egy kicsit erősebb vagy gyengébb, vagy ha a tágulás egy tört résszel gyorsabb vagy lassabb – lehet, hogy soha nem jönnek létre azok a stabil elemek, amelyekből az olvasó és a szerző felépíttetett, nem is szólva a Földről, amin állunk. Ha például a gravitáció akár csekély mértékben is erősebb, lehet, hogy az egész világegyetem már régen összeomlott volna, mint egy gondatlanul felvert sátor, mert paraméterei nem tették volna lehetővé a megfelelő méreteket, sűrűséget és alkotóelemeket. Ha viszont egy kicsit gyengébb lenne, lehet, hogy semmi nem állt volna össze. A világegyetem örökre unalmas, szétszórt üresség maradt volna.

A tudósoknak ez az egyik oka azt feltételezni, hogy lehettek más ősrobbanások is, akár trilliók az örökkévalóság folyamán, és azért élünk éppen ennek az egynek az eredményében, mert máshol nem is létezhetnénk. A Columbia Egyetemről Edward P. Tryon ezt így fogalmazta: „A kérdésre, hogy miért történt, az a szerény válaszom, hogy világegyetemünk azon rengeteg dolog egyike, amelyek egyszer-egyszer megtörténnek.” Ehhez Guth hozzáteszi: „Bár egy világegyetem létrejötte nagyon valószínűtlen, Tryon azt hangsúlyozza, hogy senki nem számolta meg a sikertelen kísérleteket.”

Martin Rees, Nagy-Britannia királyi csillagásza úgy gondolja, hogy sok világegyetem van, valószínűleg végtelen sok, mind különböző tulajdonságokkal és összeállításban, ezért lehetséges, hogy mi egy olyanban élünk, amely megteremtette életfeltételeinket. Egy nagy ruházati üzlethez hasonlítja a helyzetet: „Ha nagy a választék, nem lepődünk meg, ha egy öltöny éppen jó ránk. Ha sok világegyetem van, mind más paraméterekkel, lesz egy olyan is, ami éppen megfelel az élet kialakulásához. És ebben élünk mi.”

Rees szerint a világegyetemet leginkább hat paraméter jellemzi, amelyekből ha egyet a legkisebb mértékben is megváltoztatunk, a dolgok teljesen máshogy alakulnak. Annak, hogy a világegyetem ilyen maradjon, feltétele például, hogy a hidrogénből mindig ugyanolyan méltóságteljes módon váljon hélium: tömegének 0,7 ezreléke energiává alakuljon. Ha az érték ennél kisebb, mondjuk 0,6 ezrelék lenne, akkor nem jönne létre hélium, és a világegyetem kizárólag hidrogénből állna. Ha az érték nagyobb

lenne, mondjuk 0,8 ezrelék, a kötések olyan erősek lennének, hogy már rég nem lenne hidrogén. Mindkét esetben ugyanaz az eredmény: ha egy kicsit is megváltoztatjuk a számokat, az általunk ismert világegyetem nem létezne.

Azt gondolom, hogy eddig minden rendben van. Hosszú távon persze kiderülhet, hogy a gravitáció egy kicsit mégis túl erős, és egy nap megállhat a világegyetem tágulása, sőt össze is omolhat egy másik szingularitássá, és a folyamat esetleg elölről kezdődhet. Másrészt viszont túl gyengének is bizonyulhat, és akkor a világegyetem tovább tágul, amíg minden olyan távol nem kerül egymástól, hogy nem lesznek anyagi kölcsönhatások, és a világegyetem egy szép tágas, mozdulatlan, halott képződménnyé válik. A harmadik lehetőség: a gravitáció pont jól van beállítva (a kozmológusok ezt nevezik kritikus sűrűségnek), és a világegyetem szépen megtartja méreteit, és a dolgok örökké folytatódhatnak. A kozmológusok lazább pillanataikban ezt nevezik Goldilocks-hatásnak[2]: amikor minden éppen rendben van. (Megjegyzés: a fent leírt három lehetséges forgatókönyv neve zárt, nyílt, illetve sík világegyetem.) Előbb-utóbb mindannyiunkban felmerül a kérdés, hogy mi történne, ha elmennénk a világegyetem szélére, és kikukucskálnánk a függöny mögül. Hol lenne a fejünk e művelet során, ha nem a világegyetemben? És mit látnánk? A válasz kiábrándító: soha nem érhetünk el a világ végére. És nemcsak azért, mert túl sokáig tartana az út (bár ez is igaz), hanem azért, mert ha elindulnánk kifelé egy egyenes mentén, és rendületlenül, örökké haladnánk, akkor sem érnénk el a külső határt. Ehelyett visszaérkeznénk oda, ahonnan indultunk (amitől valószínűleg elkeseredénk és feladnánk a dolgot). Ennek az az oka, hogy a világegyetem görbül. Hogy ez hogyan lehetséges, azt nem tudjuk elképzelni, de Einstein relativitáselmélete szerint így kell lennie (ezt később még tárgyaljuk). Most erről elég azt tudnunk, hogy nem valamiféle örökké táguló buborékban lebegünk. A tér úgy görbül, hogy ezáltal határtalan, de véges lehet. Magáról a térről még csak azt sem mondhatjuk, hogy tágul, mert (mint ahogyan azt Steven Weinberg Nobel-díjas fizikus megjegyzi) „a naprendszerek és a galaxisok nem tágulnak, maga a tér nem tágul”. Inkább arról van szó, hogy a galaxisok rohamosan távolodnak egymástól. Ebbe elég nehéz valahogy beleérezni. Talán erről szólt J. B. S. Haldane biológus híres mondása: „A világegyetem nemcsak furcsább, mint amilyennek képzeljük, hanem annál is furcsább, mint amilyennek el tudjuk képzelni.

A tér görbületét általában a következő hasonlattal szokták szemléltetni: képzeljük el, hogy valaki, aki eddig egy sík világegyetemben élt, a Földre kerül. Bármilyen messzire is gyalogol a bolygó felszínén, nem fogja megtalálni a szélét. Lehet, hogy a végén visszatér a kiindulási helyére, és persze sehogyan sem érti, hogy mi történt. Mi is abban a helyzetben vagyunk, mint a csodálkozó sík vidéki utazó, csak minket egy másik dimenzió döbbentene meg.

A világegyetemnek tehát nincsen széle. Akkor viszont olyan pont sincsen, ahol azt mondhatnánk: – Minden itt kezdődött. Ez mindennek a közepe.

Minden a közepe mindennek. Ezt nem tudjuk biztosan, mert nincsen matematikai bizonyítása. A tudósok mégis feltételezik, hogy nem lehetünk a világegyetem közepén – gondoljunk csak bele, ebből mi következne – de a jelenség valószínűleg ugyanez, bárhol is álljon a szemlélő. De nem tudhatjuk biztosan.

Számunkra a világegyetem csak akkora, amekkora utat a fény megtett a keletkezése óta eltelt évmilliárdok során. Ez a látható világegyetem – az, amit ismerünk, és amiről egyáltalán beszélhetünk, másfél milliószor milliószor milliószor millió (tehát körülbelül 1 600 000 000 000 000 000 000 000) kilométer átmérőjű. De a legtöbb elmélet szerint a nagy világegyetem – ezt nevezik néha meta-világegyetemnek is – még sokkal nagyobb. Rees szerint ennek a nagyobb, láthatatlan világegyetemnek nem

„tíz vagy száz, hanem inkább millió nullára végződő számú fényévre van” a széle. Röviden szólva, már így is túl nagy a minket körülvevő űr, ne is kísérletezzünk a láthatatlan részek elképzelésével.

Az ősrobbanás-elmélet egy része sokáig hiányzott, és ez sokakat nyugtalanított, mert e nélkül nem volt alkalmas annak megmagyarázására, hogyan jutottunk el idáig. Bár a létező anyag 98%-a az ősrobbanáskor keletkezett, ez akkor csak könnyű gázokból, a korábban már említett héliumból, hidrogénből és lítiumból állt. Az emberi léthez oly nélkülözhetetlen nehezebb anyagok (szén, nitrogén, oxigén stb.) egyetlen részecskéje sem jött létre a teremtett gázkeverékből. Viszont – és itt van a bökkenő – ezeket a nehezebb elemeket csak akkora hő és energia hozhatja létre, amekkora az ősrobbanáskor lett volna tapasztalható. De csak egy ősrobbanás volt, ekkor pedig az említett elemek nem jöttek létre. Akkor mégis hogyan keletkeztek? Érdekes módon egy olyan kozmológus találta meg a választ erre a kérdésre, aki szívből elvetette az ősrobbanás-elméletet, és az „ősrobbanás” kifejezést gúnyos értelemben használta.

Hamarosan vele is foglalkozunk, de mielőtt arról beszélnénk, hogyan jutottunk el idáig, néhány percre töprengjünk el azon, hol is van ez az „itt”.

2.
ÜDVÖZÖLJÜK NAPRENDSZERÜNKBEN

A mai csillagászok csodálatos dolgokra képesek. Ha valaki gyufát gyújtana a Holdon, észrevennék. A távoli csillagok legkisebb villanásából vagy ingadozásából meg tudják állapítani a körülöttük keringő, számunkra láthatatlan bolygók méretét, tulajdonságait, sőt azt is, hogy lakhatók-e. Olyan távoli bolygókról van itt szó, amelyekre űrhajóval körülbelül félmillió év alatt jutnánk el. Rádiótávcsöveikkel olyan elenyészően gyenge sugárnyalábokat érzékelnek, hogy ha az összes ilyennek, amelyet 1951 óta a Naprendszeren kívül észleltek, összeadnánk az energiáját, „kisebb mennyiséget kapnánk, mint amekkora energiával egy hópehely a földre száll”, hogy Carl Sagant idézzük.

Röviden szólva, nem sok minden történik a világegyetemben, amit a csillagászok ne látnának (ha éppen azt akarják). Ezért még figyelemreméltóbb, hogy 1978-ig senki nem vette észre, hogy a Plútónak holdja van. Azon a nyáron az arizonai Flagstaffben az Egyesült Államok Tengerészeti Obszervatóriumában James Christy, egy fiatal csillagász rutinszerűen megvizsgálta a Plútóról készül fényképeket, és észrevette, hogy van ott valami – valami homályos, bizonytalan dolog, ami azonban biztosan nem a Plútó. Miután észrevételét megbeszélte kollégájával, Robert Harringtonnel, arra a következtetésre jutott, hogy amit látott, az egy hold. És nem is akármilyen hold. Ha a bolygóhoz viszonyítjuk, ez a Naprendszer legnagyobb holdja.

A felfedezés nem tett jót a Plútó bolygó státusának, hiszen egyébként sem számított túl nagy bolygónak. Mivel korábban azt feltételezték, hogy a Plútó és a holdja elfoglalta térben csak egy bolygó van, a felfedezésből következik, hogy a Plútó sokkal kisebb, mint azt bárki is feltételezte – még a Merkúrnál is kisebb. Csak a mi Naprendszerünkben hét hold is nagyobb nála (közöttük a miénk).

Természetesen adódik a kérdés, hogy miért tartott ilyen sokáig, amíg valaki felfedezett egy holdat saját Naprendszerünkben. Három oka is van: egyrészt a csillagászok egyszerűen soha nem fordították a megfelelő irányba a távcsövüket, másrészt műszereiket más dolgok észlelésére tervezték, harmadrészt pedig itt csak a Plútóról van szó. De az első ok a legvalószínűbb. Clark Chapman csillagász szerint: „A legtöbben azt gondolják, hogy a csillagászok éjjel elhelyezkednek a távcsőnél, és az eget pásztázzák. Ez nem így van. A világ szinte minden távcsöve arra szolgál, hogy az égbolt egy-egy távoli, parányi részén kvazárokat vagy fekete lyukakat keressen, vagy egy távoli galaxist vizsgáljon. Csak a katonaságnak van olyan igazi távcsőhálózata, amely az egész égboltot végigpásztázza.”

El vagyunk kényeztetve; a grafikusok általában a valódi csillagászat számára elérhetetlen élességgel ábrázolják az égboltot. Christy fényképén a Plútó halvány, elmosódott – egy kis kozmikus maszat –, holdja pedig nem az a bizonyos romantikus ellenfényben élesen kirajzolódó kísérő égitest, amilyeneket a *National Geographic*ben látunk, csak egy apró, rendkívül bizonytalan körvonalú része a képnek, ahol egy kicsit sűrűbben vannak a fényképet amúgy is ellepő szöszök. A látvány annyira nem volt egyértelmű, hogy még hét évbe telt, amíg valaki ismét meglátta a holdat, és ezzel a független megfigyeléssel végre megerősítette annak létezését.

Christy felfedezésének érdekessége az is, hogy Flagstaffben történt, mert magát a Plútót is itt fedezték fel 1930-ban. Az utóbbi, a csillagászatban nagy hatású esemény Percival Lowellnek köszönhető. Lowell, a legrégibb és leggazdagabb bostoni családok tagjaként (az egyik ilyen családról szól a közismert dalocska[3]) az államnak adományozta a most a nevét viselő híres csillagvizsgálót, de mégsem

emiatt marad meg a csillagászat történetében, hanem mert úgy gondolta, a Marsot csatornahálózat borítja, amelyet a szorgalmas marslakók hoztak létre, hogy a sarki területekről vizet vezessenek az Egyenlítő menti száraz, de egyébként termékeny földekre.

Lowell másik megingathatatlan elképzelése az volt, hogy léteznie kell valahol a Neptunusz után egy kilencedik bolygónak. Ezt az elképzelt égitestet X bolygónak nevezte el. Lowell elméletét az Uránusz és Neptunusz pályájának szabálytalanságára alapozta, és élete utolsó éveit a gázóriás keresésével töltötte, amelynek létezésében biztos volt. Sajnos 1916-ban hirtelen meghalt, részben a szakadatlan keresés okozta kimerültségtől, és a keresés abbamaradt, Lowell örökösei pedig a hagyatékon civakodtak. 1929-ben viszont, részben azért, hogy eltereljék a figyelmet a marsi csatornahálózat elméletéről (ami ekkorra már kezdett kínos lenni), a Lowell Obszervatórium vezetői úgy döntöttek, hogy folytatják a keresést, és fel is vettek erre egy kansasi fiatalembert, Clyde Tombaugh-t.

Tombaugh nem kapott hivatalos csillagászati képzést, de szorgalmas és ügyes volt, és egy év türelmes keresés után valahogyan megtalálta a Plútót, a sok csillagtól fényes égbolt egy halvány pontját. Csodálatos felfedezés volt, annál is inkább, hogy szinte minden megfigyelés, amelyre Lowell a feltételezését alapozta, tévesnek bizonyult. Tombaugh rögtön látta, hogy az új bolygó egyáltalán nem hatalmas gázgömb, ahogyan azt Lowell hitte, de sem benne, sem társaiban nem keltettek túl sok kételyt az új bolygó eltérő tulajdonságai, annyira örültek a felfedezésnek – ne feledjük, ez olyan korban történt, amikor az emberek szívesen ujjongtak az új tudományos felfedezések hallatán. Ez volt az első olyan bolygó, amelyet egy amerikai fedezett fel, és senkit nem zavart, hogy valójában csak egy távoli jéggolyó. Plútónak nevezték el, részben azért, mert a név első két betűje Lowell monogramja. Lowellt utólag elsőrendű tudósként ünnepelték, Tombaugh-t pedig nagyjából el is felejtették, kivéve talán a bolygókkal foglalkozó csillagászok, akik még mindig tisztelettel emlegetik.

Egyes csillagászok még mindig lehetségesnek tartják, hogy valahol az űrben mégis van egy X bolygó – egy igazi óriás, ami talán tízszer akkora, mint a Jupiter, de olyan messze tőlünk, hogy nem látjuk. (Olyan kevés napsugárzás érné, hogy nemigen lenne mit visszatükröznie.) Úgy gondolják, hogy nem olyan hagyományos bolygó lenne, mint a Jupiter vagy a Szaturnusz – ehhez túl távol van, lehet, hogy tízmilliárd kilométerre – hanem inkább egy, a Naphoz hasonló égitest. (Azt viszont a gravitációs hatása alapján már régen fel lehetett volna fedezni, tehát nincs a Naprendszerben ilyen égitest – *a lektor megjegyzése*.) A kozmoszban a legtöbb csillag kettős (a két csillag párt alkot); a mi Naprendszerünk ebből a szempontból különleges.

A Plútóról egyébként senki nem tudja biztosan, hogy mekkora, milyen anyagból van, milyen a légköre, vagy hogy mi is az valójában. Sokan úgy gondolják, nem is bolygó, csak a legnagyobb test egy amúgy is sok törmeléket tartalmazó zónában, a Kuiper-övben. A Kuiper-öv létezését először F. C. Leonard csillagász vetette fel 1930-ban, de Gerard Kuiper Amerikában élő holland tudós tiszteletére nevezték el; ő dolgozta ki az elméletet. A Kuiper-övből származnak az úgynevezett rövid periódusú üstökösök, amelyekkel viszonylag gyakran találkozunk – ezek közül a leghíresebb a Halley-üstökös. A messzebbről érkező, hosszú periódusú üstökösök (például a nemrég látott Hale-Bopp- és Hyakutake-üstökösök) a jóval távolabbi Oort-felhőből jönnek, amiről hamarosan még szót ejtünk.

Az biztos, hogy a Plútó nem úgy működik, mint a többi bolygó. Nemcsak azért, mert egy csenevész kis bolygó a világ végén, de azért is, mert mozgása annyira változó, hogy senki nem vállalkozna annak megállapítására, hogy hová kerül egy évszázad múlva. Míg a többi bolygó pályája többé-kevésbé egy síkban van, a Plútóé ezekkel 17 fokos szöget zár be, mintha valaki hetykén a fejébe csapná a kalapját. Pályája annyira elliptikus, hogy Nap körüli útjának számottevő hányadában közelebb kerül hozzánk,

mint a Neptunusz. Az 1980-as és 1990-es évek legnagyobb részében a Neptunusz volt Naprendszerünk legtávolabbi bolygója. A Plútó csak 1999. február 11-én tért vissza a Neptunuszon kívülre, és ott is marad majd 228 évig.

Tehát ha a Plútó valóban bolygó, akkor furcsa bolygó. Nagyon kicsi: tömege a Föld tömegének 2,5 ezreléke. Ha az Egyesült Államokra tennénk, nem takarná el az alsó negyvennyolc állam felét sem. Már ez is elég ahhoz, hogy kilógjon a sorból; ezek szerint bolygórendszerünk négy belső sziklabolygóból, négy külső gázóriásból és egy kis magányos jéggolyóból áll. Arra is minden okunk megvan, hogy feltételezzük, hogy hamarosan más, még nagyobb jéggömböket fogunk találni az űr szóban forgó részén. Ez már tényleg gond lenne. Azóta, hogy Christy meglátta a Plútó holdját, a csillagászok figyelmesebben vizsgálják a kozmosznak ezt a részét, és 2002 decemberének elejéig több mint hatszáz Neptunuszon túli objektumot találtak. Egyikük, a Varuna, majdnem akkora, mint a Plútó holdja. A csillagászok most úgy gondolják, hogy akár több milliárd ilyen objektum is létezhet. Nehézséget jelent viszont, hogy legtöbbjük nagyon sötét. Albedójuk (sugárzás-visszaverő képességük) általában 4% körül van, ami körülbelül akkora, mint egy darab szén – és ezek a széndarabok hatmilliárd kilométerre vannak tőlünk.

És az milyen távolságot jelent? Alig lehet elképzelni. Az űr ugyanis hatalmas – egyszerűen hatalmas. Képzeljük el a miheztartás végett, vagy puszta szórakozásból, hogy űrutazásra készülünk. Nem megyünk nagyon messze, csak saját Naprendszerünk szélére, de ez elég lesz annak szemléltetésére, hogy milyen hatalmas az űr, és annak mi milyen kicsi részét foglaljuk csak el.

Van egy rossz hírem: nem érünk haza vacsorára. Még fénysebességgel (300 000 km/s) is hét óra az út a Plútóig. De ezt a sebességet persze meg sem közelíthetjük. Űrhajósebességgel utazunk, és az bizony jóval lomhább a fénynél. Az ember készítette objektumok közül idáig a legnagyobb sebességet a Voyager 1 és 2 űrszondák érték el, amelyek ebben a pillanatban is körülbelül 56 000 km/h sebességgel távolodnak tőlünk.

A Voyagereket azért éppen 1977 augusztusában és szeptemberében bocsátották fel, mert akkor a Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz egymáshoz képest olyan különleges helyzetet foglaltak el, ami csak 175 évenként fordul elő. E miatt a szerencsés helyzet miatt az űrszondák fel tudták használni a gázóriások gravitációs terét, és az űrszondákat a gravitációs lendítésnek vagy hintamanővernek nevezett módszerrel lendítették tovább az egyik nagybolygótól a másikig. Még így is kilenc év kellett az Uránusz eléréséhez, és még tizenkettő a Plútó pályájának keresztezéséhez. Van egy jó hírem is: 2006 januárjában (ekkorra tűzték ki a NASA New Horizons űrszondájának a Plútó felé indulását), kihasználhatjuk a Jupiter kedvező helyzetét, és azóta a technológia is fejlődött, így akár egy évtized alatt odaérhetnénk, bár a hazajutás sajnos hosszabb időt venne igénybe. A látogatás semmiképpen nem lesz rövid. (2006. január 19-én valóban fel is bocsátották a New Horizons szondát – a lektor megjegyzése.)

Most már kezdjük érteni, hogy miért találó név az „űr”: üres és kétségbeejtően eseménytelen. Lehet, hogy Naprendszerünk a legérdekesebb hely több billió kilométeren belül, de a benne látható dolgok – a Nap, a bolygók a holdjaikkal, a kisbolygóöv milliárdnyi hánykolódó sziklája, az üstökösök és a többi mindenféle sodródó törmelék – a rendelkezésre álló tér egybilliomodát sem töltik ki. Az is világos, hogy a térképek, amelyeket eddig a Naprendszerről láttunk, nem lehetnek méretarányosak. A legtöbb iskolai térképen a bolygók szomszédosak, a külső óriások gyakran még árnyékot is vetnek egymásra, de erre a csalásra szükség van, ha azt akarjuk, hogy elférjenek ugyanazon a lapon. Valójában a Neptunusz nem csak egy kicsit van a Jupiter mögött, hiszen hatszor akkora távolságra van tőle, mint a Jupi-

ter a Földtől, olyan messze, hogy csak körülbelül 3 százaléknyi napsugárzást kap a Jupiterhez képest.

Akkorák a távolságok, hogy gyakorlatilag lehetetlen méretarányosan ábrázolni a Naprendszert. Még ha kihajtható oldalakat használnánk, vagy egy óriásplakátot, akkor sem jutnánk sehová. Ha a Naprendszer méretarányos térképén a Föld borsónyi, akkor a Jupiter 300 méterre van tőle, a Plútó pedig két és fél kilométerre (és körülbelül akkora, mint egy baktérium, tehát nem is látnánk). Ugyanezen a térképen a Proxima Centauri, a Naphoz legközelebbi csillag 16 000 kilométerre lenne. Még ha a térképet akkorára kicsinyítenénk is, hogy a Jupiter akkora lenne, mint a pont ennek a mondatnak a végén, és a Plútó egy molekulányivá zsugorodna, a Plútó még mindig 10 méterre lenne.

Tehát a Naprendszer valóban hatalmas. Mire a Plútóhoz érünk, annyira eltávolodtunk a Naptól – kedves, meleg, bőrbarnító, életadó Napunktól – hogy az gombostűfej méretűre zsugorodott. Nem sokkal nagyobb, mint bármelyik fényes csillag. Innen nézve könnyebb lesz megérteni, hogy még a legjelentősebb objektumok, mint például a Plútó holdja is, hogyan kerülhették el ilyen sokáig a figyelmünket. És a Plútó ebből a szempontból nincsen egyedül. A Voyager-expedíciókig azt hittük, hogy a Neptunusznak két holdja van; erre a Voyager még hatot talált. Amikor kisfiú voltam, úgy tanultuk, hogy a Naprendszerben összesen harminc hold van. Most már legalább százról tudunk, és ezek egyharmadát az utóbbi tíz évben találták. Amikor tehát a világegyetemről gondolkodunk, ne feledjük, hogy saját Naprendszerünket sem ismerjük eléggé.

Amikor elsuhanunk a Plútó mellett, egyszer csak észrevesszük, hogy elhagytuk a Plútót. Ha megnézzük az útitervet, látni fogjuk, hogy utunk célja a Naprendszer széle, és sajnos még nem érkeztünk meg. Lehet, hogy az iskolai falitérképen a Plútó volt az utolsó objektum, de a Naprendszernek itt még nincs vége. Még csak közel sem járunk a széléhez. Ahhoz először át kell haladnunk az Oort-felhőn, egy hatalmas égi üstökösbirodalmon, amit sajnos csak körülbelül tízezer év múlva érünk el. A Plútó nemcsak nem a Naprendszer szélén van, hanem a Naptól körülbelül a Naprendszer sugarának ötvenezred részére.

Persze nem fogunk útra kelni. Már a Holdig tartó 386 000 kilométeres út is hatalmas kihívást jelentett. Ha embert küldenénk a Marsra, ahogyan azt az idősebbik Bush elnök pillanatnyi megingásában bejelentette, az körülbelül 450 milliárd dollárba kerülne, így a tervet szép csöndben elejtették. Arról nem is beszélve, hogy a legénység valószínűleg odaveszne, mert nem tudnánk őket megfelelően megvédeni a Napból származó nagy energiájú naprészecskéktől, és azok valószínűleg tönkretennék aminosavaikat.

Annak alapján, amit tudunk, és amit józan ésszel elképzelhetünk, nincs esély arra, hogy bárki valaha is meglátogassa saját Naprendszerünk szélét. Túl messze van. Még a Hubble-űrtávcsővel sem látunk el az Oort-felhőig, tehát tulajdonképpen nem is lehetünk biztosak benne, hogy ott van. Létezése valószínű, de teljesen hipotetikus.[4]

Az Oort-felhőről tulajdonképpen csak azt tudjuk biztosan, hogy valahol a Plútó után kezdődik, és körülbelül két fényévnyire nyúlik be a kozmoszba. A Naprendszer alapmértékegysége a CSE (csillagászati egység): a Föld és a Nap átlagos távolsága. A Plútó körülbelül 40 CSE-re van tőlünk, az Oort-felhő közepe 50 000 CSE-ra. Szóval messze van.

De tételezzük fel egy pillanatra, hogy mégis eljutottunk az Oort-felhőig. Itt minden nagyon békés. Távol vagyunk mindentől, olyan távol saját Napunktól is, hogy már nem is az az ég legfényesebb csillaga. Azért nem árt megjegyezni, hogy annak a távolban hunyorgó valaminek a gravitációs tere tartja pályán az összes körülöttünk lévő üstököst. A vonzerő nem túl erős, ezért az üstökösök méltóságteljesen, mintegy 350 km/h sebességgel mozognak. Néha a magányos bolygókat valamilyen kis gravitációs

zavar, például egy elhaladó csillag, kitaszítja a pályájáról. Ilyenkor vagy kilökődnek az űrbe, vagy egy beljebb lévő, Nap körüli pályára állnak. Minden évben három-négy ilyen hosszú periódusú üstökös halad át a Naprendszer belsején. Egyszer-egyszer pedig bele is ütköznek valamibe, például a Földbe. És éppen ezért vagyunk itt: hogy megnézzünk egy üstököst, ami most kezdi hosszú utazását a Naprendszer középpontja felé. Előre eláruljuk, hogy célpontja az Iowa állambeli Manson. Sokára fog odaérni (három- vagy négymillió év is beletelik), úgyhogy egyelőre itt is hagyjuk, de a történet során még látni fogjuk.

Ez tehát a Naprendszer, amelyben élünk. És mi van még a messzeségben, a határán túl? Semmi és jó sok minden, attól függően, hogyan tekintjük.

Ha csak keveset haladunk tovább, semmit nem találunk. A csillagok közötti űr az ember alkotta legtökéletesebb vákuumnál is üresebb. És ebből a semmiből jó sokat kell magunk mögött tudnunk, mire ismét valamihez érkezünk. A kozmoszban a legközelebbi szomszédunk a Proxima Centauri, a három csillagból álló Alfa Centauri része. 4,3 fényév távolságra van, ami galaktikus mértékkel mérve csak egy tyúklépés, de azért mégis csak százmilliószorosa a Föld-Hold távolságnak. Ha űrhajóval szeretnénk odajutni, szánjunk az útra legalább huszonötezer évet, és ha odaérünk, látunk majd egy magányos csillagcsoportot a hatalmas semmi közepén. A következő jelentősebb állomásunk a Szíriusz lehet, újabb 4,6 fényév távolságra. És ez így folytatódna, csillagról csillagra. Saját galaxisunk közepének elérése is hosszabb időbe telne, mint amennyit eddig léteztünk.

Az űr, hadd mondjam el még egyszer, hatalmas. A csillagok között átlagosan harmincmillió millió kilométer van. Még ha meg lehetne is közelíteni a fénysebességet, ezek akkor is nagy kihívást jelentenének az utazónak. Persze lehetséges, hogy vannak olyan űrlények, akik kilométermilliárdokat utaznak, csak hogy kör alakú jeleket hagyjanak a wilt-shire-i búzatáblákban, vagy hogy az elhagyatott arizonai országúton haladó szegény fickókat halálra ijesszék (biztosan náluk is vannak tinédzserek), de ez azért nem túl valószínű.

Mégis jókora a statisztikai valószínűsége annak, hogy valahol mégis élnek gondolkodó lények. Senki nem tudja, hogy a Tejútrendszer hány csillagból áll – a számuk a közelítések szerint valahol egy- és négymilliárd között van – és a Tejútrendszer csak egyike a körülbelül negyvenmilliárd galaxisnak, és vannak a miénknél sokkal nagyobb galaxisok is. Az 1960-as években Frank Drake-et, egy Cornell Egyetemi tanárt annyira lázba hozták ezek az elképesztő számok, hogy megalkotta híres egyenletét, amelynek segítségével ki lehet számítani annak valószínűségét, hogy van-e fejlett élet valahol a kozmoszban; az egyenletben egyre csökkenő valószínűségek sorozatát kapjuk.

Drake módszere szerint el kell osztani a világegyetem kiválasztott részében található csillagok számát azoknak a csillagoknak a számával, amelyekhez bolygók tartozhatnak, ezt el kell osztani azon bolygórendszerek számával, amelyeken élet alakulhat ki, ezt el kell osztani azoknak a számával, amelyeken a kialakult élet gondolkodó lényeket produkál, és így tovább. A valószínűséget mérő szám minden osztással jelentősen csökken, de még a legrosszabb esetben is az derül ki, hogy a Tejútrendszerben több millió fejlett civilizáció létezhet.

Ez bizony érdekes, izgalmas gondolat. Lehet, hogy civilizációnk csak egy a több millió fejlett civilizáció közül. Sajnos, mivel az űr túl nagy, a két civilizáció közötti átlagos távolság még így is kétszáz fényév körül van. Ez így kimondva nem hangzik túl soknak, de azért okozna egy-két komoly problémát. Az első az lenne, hogy még ha ezek a lények tudják is, hogy itt vagyunk, és valamilyen módot találtak olyan távcső elkészítésére, amin keresztül látnak minket, azt a fényt észlelik, ami a Földet kétszáz éve hagyta el. Tehát nem láthatják az olvasót vagy engem. A francia forradalmat nézik, Thomas

Jeffersont, selyemharisnyás és rizsporos parókás férfiakat – olyan embereket, akik nem tudják, mi egy atom vagy egy gén, és akik csak azt a fajta elektromosságot ismerik, amit egy borostyán és egy szőrmedarab összedörzsölésével lehet előállítani – és ez a legnagyobb trükkjük. Ha elképzelt megfigyelőinktől levelet kapnánk, az bizonyára „Tekintetes uraim!" megszólítással kezdődne, és megdicsérné lovainkat és bálnazsír-feldolgozónkat. A kétszáz fényév távolság kétszáz évet jelent a múlt felé.

Tehát, bár lehet, hogy nem vagyunk egyedül, gyakorlati szempontból mégis így áll a helyzet. Carl Sagan számításai szerint a világegyetemben tízmilliárd billió bolygó lehet – ezt a számot lehetetlen elképzelni. Mint ahogy azt is, hogy mekkora a tér, amelyben ezek a bolygók szét vannak szórva. „Ha valakit véletlenszerűen letennének valahol a világegyetemben, annak az esélye, hogy ez egy bolygón vagy annak közelében történik, kevesebb lenne, mint egy az egymilliárdszor billiószor billióhoz." (10^{-33}, vagyis az l-es előtt 33 nulla van.) „A világokat nagyra kell értékelnünk."

Talán éppen ezért jó hír, hogy 1999 februárjában a Nemzetközi Csillagászati Unió hivatalosan kimondta, hogy a Plútó bolygó. A világegyetem egy nagy, magányos hely. Meg kell becsülnünk a szomszédjainkat.

3.
EVANS TISZTELETES VILÁGEGYETEME

Amikor az ég tiszta, és a hold nem világít túl erősen, Robert Evans tiszteletes úr, egy csendes, jó kedélyű ember, kicipeli terjedelmes távcsövét az ausztráliai Kék-hegységben, Sydneytől körülbelül 80 kilométerre nyugatra lévő házának hátsó teraszára, és furcsa dolgot művel. A múltba néz, és haldokló csillagokat lát.

A múltba nézés a dolog könnyebbik fele. Ha a csillagokat nézzük, történelmet látunk, hiszen nem a csillagok mai állapotát figyeljük, hanem az akkorit, amikor a felénk tartó fény elhagyta őket. Nem tudhatjuk, hogy az északi Sarkcsillag, hűséges útitársunk, nem égett-e ki múlt januárban, 1854-ben vagy bármikor a XIV. század eleje óta. Csak azt tudjuk – és mindig csak ezt fogjuk tudni – hogy 680 éve még működött. A csillagok azonban nem örök életűek. Bob Evans pedig a legjobb azok közül, akik egy különös hobbinak: az égi elmúlás megfigyelésének hódolnak.

Nappal Evans az Ausztrál Unitárius Egyház papja, fél lábbal már nyugdíjban, aki néha még helyettesítget, és a XIX. század vallási mozgalmait kutatja. Éjjel azonban – bár ő soha nem fogalmazna így – ő lesz az égbolt egyik titánja. Szupernóvákat keres.

Szupernóva akkor keletkezik, amikor egy óriási (a mi Napunknál sokkal nagyobb) tömegű csillag összeomlik, és látványosan felrobban. Ilyenkor egy pillanat alatt százmilliárd nap energiája keletkezik, ami egy darabig fényesebb lesz, mint a galaxis többi csillaga együttvéve.

– Olyan, mintha egyszerre billió hidrogénbombát robbantanának fel – mondja Evans. Ha egy szupernóva-robbanás tőlünk ötszáz fényéven belül történne, az Evans szerint a végünket jelentené – tönkretenné az előadást, ahogyan ő derűsen fogalmaz. De a világegyetem hatalmas, és a szupernóvák általában túl messze vannak ahhoz, hogy kárt tegyenek bennünk. Legtöbbjük olyan elképzelhetetlenül messze van, hogy fényüket csak halvány pislákolásnak látjuk. Körülbelül egy hónapig látszanak, és csak ennyiben különböznek a többi csillagtól: nem látszottak sem az egy hónapos időszak előtt, sem utána. Robert Evans tehát ezeket az egyszer csak (nagyon ritkán) feltűnő csillagokat keresi az éjszakai égbolt rengeteg csillaga között.

Hogy megértsük, mekkora bravúrról van szó, képzeljünk el egy ebédlőasztalt fekete abrosszal letakarva. Valaki egy marék sót szór rá, ezek lesznek a galaxisunk csillagai. Most képzeljünk el még ezerötszáz ilyen asztalt – ennyi betöltené a legnagyobb áruház parkolóját is, és ha sorba raknánk őket, három kilométeren át tartanának – és mindegyik összevissza lenne sózva. Most tegyünk le még egy sószemcsét valamelyik asztalra, és Bob Evans induljon el közöttük. Azonnal észre fogja venni az újabb sószemcsét (a szupernóvát).

Evans ezen képessége annyira különleges, hogy Oliver Sacks az *Antropológus a Marson* című könyvében egy egész szakaszt szentel neki az egyik, autisztikus tudósokról szóló fejezetben. Még szerencse, hogy hozzáteszi: „Ezzel persze nem akarom azt állítani, hogy Evans autista lenne.” Evans még nem találkozott Sacksszel, de azért jót mulatott a felvetésen, hogy valaki őt akár autistának, akár tudósnak tarthatja, de ő maga sem tudja, hogy különleges tehetsége honnan származik.

– Valamiért könnyen jegyzem meg a csillagmezőket – mondta nekem mentegetőző arckifejezéssel, amikor meglátogattam őket. Feleségével, Elaine-nel egy képeskönyvbe illő házikóban élnek a nyugalmas Hazelbrook falu szélén, a hatalmas Sydney és a határtalan ausztrál bozót határán. – Más dolgok-

ban nem vagyok túl jó – tette még hozzá. – Képtelen vagyok például neveket megjegyezni.

– Vagy hogy hová tette a dolgait – szólt ki Elaine a konyhából.

A tiszteletes beleegyezően mosolygott, és megkérdezte, szeretném-e megnézni a távcsövet. Gondoltam, egész kis csillagvizsgálója van a hátsó udvaron, mondjuk egy kicsinyített Mount Wilson vagy Palomar, nyitható kupolával és mindenfelé irányítható székkel, amivel majd jól eljátszogatok... Nem így történt. Nem is mentünk ki, csak a konyhából nyíló kis kamrába, ahol a könyveit és más papírjait tartja, és ahol a forró vizes bojlerre emlékeztető alakú és méretű távcső áll egy saját készítésű, rétegelt lemezből készült, forgatható állványon. Amikor használja, két menetben kiviszi az apró, szintén a konyhából nyíló teraszra. A háznak a terasz fölé nyúló teteje és a környező eukaliptuszfák finom rajzolatú lombja között körülbelül akkora darab ég látszik, mint egy postaláda, de Evans állítja, hogy ez éppen megfelel a célnak. És amikor tiszta az ég, és a hold nem süt túl fényesen, szupernóvákat talál.

A szupernóva kifejezést az 1930-as években alkotta Fritz Zwicky, egy különc asztrofizikus. Zwicky Bulgáriában született és Svájcban nőtt fel, majd a 20-as évektől a Kaliforniai Műszaki Intézetben (Caltech) dolgozott, ahol hamarosan kitűnt energikus személyiségével és sokféle különleges képességével. Első pillantásra nem tűnt kiemelkedően okosnak, és legtöbb kollégája bosszantó pojácának tartotta. Lelkes testépítő volt, és nem zavartatta magát akár a Caltech ebédlőjében vagy más nyilvános helyen sem hirtelen néhány félkezes fekvőtámaszt csinálni, ha bárki kételkedett férfiasságában. Hírhedten agresszív volt, annyira félelemkeltő modorral, hogy legközelebbi munkatársa, egy szelíd, Walter Baade nevű férfi, nem volt hajlandó kettesben maradni vele. Zwicky többek között azzal gyötörte a német születésű Baadét, hogy biztosan náci (nem volt az). Bizonyíthatón azzal fenyegette a Mount Wilson Csillagvizsgálóban dolgozó Baadét, hogy megöli, ha meglátja a Caltech területén.

Ugyanakkor Zwickynek egészen elképesztően ragyogó, ösztönös megérzései voltak. Az 1930-as évek elején a csillagászat egy régi megoldatlan kérdésével kezdett el foglalkozni: miért tűnnek fel időnként új fénypontok, csillagok az égen. Nem tudni, miért, de az jutott az eszébe, hogy esetleg a neutron – az atom egyik részecskéje, amelyet akkor nemrég fedezett fel az angol James Chadwick, és ezért divatos újdonságnak számított – a felelős a dologért. Arra gondolt, hogy ha egy csillag olyan sűrűségűre omlana össze, amilyen sűrűséget csak az atomok belsejében találni, az eredmény egy elképzelhetetlenül sűrű csillagmag lenne. Az atomok összeszorulnának, elektronjaik az atommagba nyomódnának, és neutront alkotnának. Neutroncsillag alakulna ki. Olyasmi lenne, mintha millió súlyos ágyúgolyót nyomnánk össze egyetlen üveggolyó méretére, csak még sokkal sűrűbb. A neutroncsillag magja olyan sűrű, hogy belőle egy kanálnyi 100 milliárd kilogrammot nyomna. Ismétlem: egyetlen kanálnyi! De Zwicky nem állt meg itt. Rájött, hogy egy ilyen csillag összeomlása után rengeteg energia maradna meg – ami elég lenne a világegyetem leghatalmasabb robbanásához. Ezeket az eseményeket nevezte el szupernóvának. Ezek a teremtés legnagyobb eseményei.

1934. január 15-én a Physical Review folyóiratban megjelent annak az előadásnak a nagyon tömör kivonata, amelyet Zwicky és Baade tartottak az előző hónap során a Stanford Egyetemen. Bár a cikk nagyon rövid volt – huszonnégy soros bekezdés – hatalmas tudományos eredményről számolt be: bevezették a neutroncsillag és a szupernóva fogalmát, meggyőzően elmagyarázták, hogyan alakulnak ki, helyesen kiszámították a robbanás energiáját és a végén, ráadásképpen, kapcsolatot teremtettek a szupernóvák és egy titokzatos új jelenség: a kozmikus sugarak között; nem sokkal korábban fedezték fel ugyanis, hogy a világegyetem hemzseg tőlük. A neutroncsillagok létezése csak harmincnégy év után nyert bizonyítást. Az, hogy a nagy energiájú kozmikus sugarak szupernóváktól származnának – bár nagyon is valószínűnek tűnik – még mindig nincsen bebizonyítva. Zwicky és Baade cikke Kip S. Thorne,

a Caltech asztrofizikusa szerint „a fizika és a csillagászat történetének egyik leginkább jövőbe látó dokumentuma”.

Érdekes módon Zwicky nem sokat tudott az általa leírt jelenségek okáról. Thorne szerint „nem ismerte eléggé a fizika törvényeit ahhoz, hogy alátámassza elképzeléseit”. Zwicky a nagy ötletek embere volt. Mások, főként Baade, végezték a matematikai aprómunkát.

Zwicky elsőként jött rá arra is, hogy a világegyetemben egyáltalán nincsen elég látható anyag ahhoz, hogy egyben tartsa a galaxisokat, és kell lennie valamilyen egyéb gravitációs hatásnak – ezt ma sötét anyagnak hívjuk. Egyet viszont nem vett észre: ha egy neutroncsillag eléggé összezsugorodik, olyan sűrű lesz, hogy még a fény sem térhet ki óriási gravitációs vonzása elől. Ez a fekete lyuk. Sajnos Zwickyt legtöbb kollégája annyira utálta, hogy ez elég volt ahhoz, hogy tudományos elképzeléseit is legtöbbször figyelmen kívül hagyják. Amikor öt évvel később a nagy Robert Oppenheimer egy ma már mérföldkőnek számító munkájában ismét elkezdett a neutroncsillagokkal foglalkozni, meg sem említette Zwicky eredményeit, annak ellenére, hogy ő is ugyanezzel a problémával foglalkozott; pedig még a szobájuk is egy folyosóra nyílt. Majdnem negyven év kellett hozzá, hogy végre valaki komolyan vegye Zwicky sötét anyaggal kapcsolatos következtetéseit. Csak feltételezhetjük, hogy Zwicky mennyi fekvőtámaszt nyomhatott le ez idő alatt.

A világegyetem meglepően kis része látható számunkra. A Földről összesen körülbelül 6000 csillagot látni szabad szemmel; ezek közül egy adott helyről egyszerre legfeljebb kétezer látszik. Binokulárral egy megfigyelési pontról már 50 000 csillag látszik; egy kis öt centiméteres távcsővel ez a szám 300 000-re ugrik. Negyven centiméteres távcsővel, amilyet Evans használ, már nem a csillagokat számoljuk, hanem a galaxisokat. Evansék teraszáról ötven- vagy százezer galaxis látható, mindegyikben több tízmilliárd csillaggal. Ezek bizony tiszteletre méltó számok, de még ennyi között is ritkán fordul elő egy-egy szupernóva. A csillagok évmilliárdokig égnek, de csak egyszer és gyorsan halnak meg, és nem mindegyik robban fel. A legtöbb szép csendesen kialszik, mint a tábortüzek hajnal felé. Egy átlagos, százmilliárd csillagos galaxisban két- vagy háromszáz évenként fordul elő szupernóva. A szupernóva-keresés ezért egy kicsit hasonlít ahhoz, mintha valaki az Empire State Building tetejéről egy távcsővel próbálna olyan ablakokat keresni, ami mögött valaki éppen huszonegy gyertyát gyújt egy születésnapi tortán.

Ezért amikor egy reménykedő, halk szavú tiszteletes kapcsolatba lépett a környékbeli csillagászokkal, és megkérdezte, van-e szupernóva-vadászathoz használható csillagtérképük, azt hitték, egy őrülttel van dolguk. Evansnek akkoriban egy huszonöt centiméteres átmérőjű távcsöve volt – ez több mint megfelelő az amatőr csillagászathoz, de kevés a komoly kozmológiához –, amellyel a világegyetem egy ritka jelenségét akarta fülön csípni. Mielőtt Evans 1980-ban elkezdett szupernóvákat keresni, hatvannál is kevesebb létezéséről tudtak. (Amikor 2001 augusztusában meglátogattam, Evans éppen a harmincnegyedik felfedezését jegyezte fel; a harmincötödik három hónappal később következett, a harminchatodik pedig 2003 elején.)

Evansnek voltak bizonyos előnyei másokkal szemben. A legtöbb megfigyelő (és az emberek nagyobb része) az északi félgömbön él, ezért az égbolt nagy része csak az övé volt, legalábbis kezdetben. Gyors és rendkívüli emlékezőtehetséggel rendelkezik. A nagy távcsövek ormótlanok, és működési idejük nagy része a pozicionálásukkal telik el. Evans a kis negyven centiméteres távcsövét egy pillanat alatt bárhová oda tudta fordítani, mint egy sportlövő a pisztolyát. Így egy este négyszáz galaxist is meg tudott vizsgálni, míg egy nagy, professzionális távcsővel csak ötven-hatvanat lehet.

A szupernóva-keresés során előforduló leggyakoribb élmény az, hogy nem találjuk őket. 1980-tól

1996-ig évente átlagosan kettőt talált, ami bizony nem nagy fizetség a több száz álmatlanul eltöltött éjszakáért. Egyszer megtörtént, hogy tizenöt nap alatt hármat talált, de volt három év, amikor egyet sem.

– Megvan annak is a maga értéke, amikor nem találunk semmit sem – mondta. – A kozmológusok ennek az adatnak a segítségével ki tudják számítani, hogy a galaxisok milyen ütemben fejlődnek. Ez azon ritka területek egyike, ahol a bizonyíték hiánya maga a bizonyíték.

Megmutatott néhány, a távcső melletti asztalon tárolt, a tevékenységéről tanúskodó fényképet és más dokumentumokat. Ha az olvasó látott már csillagászati ismeretterjesztő kiadványt (szerintem biztosan), akkor emlékezhet, hogy ezek tele vannak távoli csillagködök fényes, színes fényképeivel, és más hasonlóan gyönyörű képekkel, tündéri megvilágítású felhőkkel, amelyeken a legfinomabb és megkapóbb égi fények játszadoznak. Jól sejtik, Evans munkafelvételei nem ilyenek. Homályos fekete-fehér képek kis fénypontokkal, amelyek körül esetleg van egy kis fényudvar. Az egyiken egy olyan halvány csillagokból álló csoport látszott, hogy a fényképet egészen közel kellett tartanom a szememhez, hogy lássak valamit. Evans elmondta, hogy a sok halvány között a fényesebb csillag a Fornax nevű csillagképben levő NGC1365-ÖS galaxishoz tartozik. (NGC = New General Catalogue, Új általános katalógus – ebben tartják nyilván a fényesebb extragalaxisokat és csillaghalmazokat. Régebben egy vastag könyv volt valaki íróasztalán Dublinban; ma, mondanom sem kell, egy általánosan hozzáférhető adatbázis.[5]) A csillag látványos halálának fénye hatvanmillió csöndes éven át szakadatlanul utazott, hogy 2001 augusztusának egyik éjszakáján apró felvillanásként megjelenjen az égen. Természetesen Robert Evans vette észre eukaliptuszillatú kertjében.

– Van valami megnyugtató abban – mondja Evans –, hogy a fény évmilliókon keresztül halad át az űrön, és éppen a megfelelő pillanatban, amikor a Földre ér, valaki éppen az égbolt megfelelő pontját fürkészi, és meglátja. Helyesnek tűnik, hogy egy ilyen nagy eseménynek legyen szemtanúja.

A szupernóvák persze nem csak a szórakoztatásunkra vannak. Többféle típusuk van (az egyiket Evans fedezte fel), és az egyik, az Ia szupernóva, a csillagászat fontos része lett, mert mindig ugyanúgy, ugyanannál a kritikus tömegnél robban fel. Ezért lehet normálgyertyaként használni kozmikus távolságok és a világegyetem tágulási sebességének megállapítására.

1987-ben a kaliforniai Berkeley Laboratóriumban Saul Perlmutternek több Ia típusú szupernóvára volt szüksége, mint amennyit egyszerű megfigyeléssel meg lehet találni, ezért kidolgozott egy szisztematikus eljárást a felkutatásukra. Szellemes rendszerét bonyolult számítógépek és töltéscsatolt eszközök, igazán jó digitális fényképezőgépek alkották, amelyek lehetővé tették a szupernóva-vadászat automatizálását. A távcsövek ezernyi képét számítógépek vizsgálták, hogy szupernóva-robbanásokat jelentő, hirtelen feltűnő fényes pontokat találjanak. Perlmutter új módszerével öt év alatt negyvenkét szupernóvát találtak Berkeleyben. Manapság már az amatőrök is töltéscsatolt eszközökkel keresik a szupernóvákat. – Ha CCD-t használok (charge-coupled device, töltéscsatolt eszköz), csak beállítom a távcsövet, és mehetek tévét nézni – mondja Evans némi szomorúsággal a hangjában. – A dolog így már nem túl romantikus.

Megkérdeztem, nem csábítja-e az új módszer. – Egyáltalán nem – válaszolta. – Túlságosan élvezem a sajátomat. Ráadásul – és mosolyogva pillantott a legújabb felfedezéséről készült fényképre – néha még mindig én vagyok a gyorsabb.

Természetes, hogy felmerül a kérdés: mi lenne, ha a közelünkben robbanna fel egy csillag. Legközelebbi csillagszomszédunk, mint már említettük, az Alfa Centauri rendszere, tőlünk 4,3 fényév távolságra. Régebben azt hittem, hogy egy ottani robbanás után 4,3 évet kellene várnunk, amíg az esemény fénye elérne hozzánk, hiszen ennyit utazik a fény, mintha egy hatalmas festékes kannát öntenének ki. Mi

lenne, ha 4 éven és 4 hónapon keresztül várnánk kikerülhetetlenül közeledő végzetünket, tudván, hogy amikor elér hozzánk, végünk lesz? Vajon az emberek eljárnának még dolgozni? Lenne értelme vetni? Lenne, aki a terményeket a boltokba szállítja?

Hetekkel később feltettem ezeket a kérdéseket John Thorstensennek, a Dartmouth College csillagászának. – Dehogyis – felelte nevetve. – Egy ilyen esemény híre valóban fénysebességgel terjed, de maga a robbanás is, ezért amikor észrevennéd, rögtön meg is halnál. De ne aggódj, nem fog bekövetkezni.

Ahhoz, hogy valaki szupernóva-robbanásban lelje halálát, „nevetségesen közel" kellene lennie az eseményhez, körülbelül tíz fényéven belül. – A veszélyt a különféle nagy energiájú sugárzások jelentenék; kozmikus sugarak, satöbbi.

Hihetetlen fényjelenségek tűnnének fel, mintha vibráló, kísérteties fényfüggönyökből állna az egész égbolt. És ez bizony semmi jót nem ígérne. Ami ilyen jelenségeket hoz létre, az könnyen felrobbanthatná a magnetoszférát, a Földet távolról körülvevő mágneses zónát, ami rendes körülmények között megvéd minket az ultraibolya sugárzástól és más kozmikus veszélyektől. Ha nem lenne magnetoszféra, akkor a napra kimerészkedők könnyen úgy járnának, mint a grillcsirke a bekapcsolva hagyott sütőben.

Thorstensen szerint azért nem kell ilyesmitől tartanunk a galaxisnak ebben a sarkában, mert először is csak egy olyan csillagféleség van, amiből szupernóva lehet. Az ilyen csillag tízszer-hússzor akkora tömegű, mint a Nap, és „ilyen nagy csillagok nincsenek a közelünkben. A világegyetem szerencsére elég nagy". A legközelebbi megfelelő csillag a Betelgeuse, amelyből már évezredek óta anyagcsomók válnak le, és ez azt jelentheti, hogy érdekes, instabil állapotba került. A Betelgeuse viszont ötvenezer fényévre van tőlünk.

Mindössze fél tucat írásos feljegyzést ismerünk szabad szemmel is látható szupernóvákról. Az egyik ilyen robbanás 1054-ben történt: akkor keletkezett a Rák-köd. 1604-ben egy másik olyan fényes csillagot hozott létre, amelyik három héten át nappal is látható volt. A legutóbbi 1987-ben történt, amikor egy szupernóva fénylett fel a Nagy Magellán-felhőben, de ez alig volt látható, és csak a déli féltekéről – és ez is biztonságos távolságra történt tőlünk: 169 000 fényévre.

A szupernóvák egy lényeges szempontból mindenképpen fontosak nekünk. Nélkülük nem lennénk itt. Emlékezzünk csak az első fejezetet lezáró kozmológiai talányra, hogy az ősrobbanás során többféle könnyű gáz jött létre, de nehezebb elemek nem. Azok csak később keletkeztek, de nagyon sokáig senki sem jött rá, hogyan. A gondot az okozta, hogy valami nagyon forró kell – a legforróbb csillagok belsejénél is forróbb valami – ahhoz, hogy létrejöjjön a szén, a vas és a többi elem, amelyek nélkül nem jutottunk volna messzire. A magyarázatot a szupernóvák nyújtották, és egy angol kozmológus fejtette meg a rejtvényt, akinek modora majdnem olyan különös volt, mint Zwickyé.

A yorkshire-i Fred Hoyle-ról van szó. Amikor Hoyle 2001-ben meghalt, a *Nature* folyóiratban megjelent nekrológ mint „kozmológusról és nagy vitatkozóról" emlékezett meg, és mind a kettőben igaza volt. A cikkben azt is írták róla, hogy „egész életét viták tüzében élte le", és hogy „sok ostobasághoz adta a nevét". Például azt állította (mindenféle bizonyíték nélkül), hogy a Természetrajzi Múzeum nagy becsben tartott Archaeopteryx-ősmaradványa hamisítvány, mint a piltdowni hamisítvány, amivel sikerült felbőszítenie a múzeum paleontológusait, akiket hosszú napokon keresztül zargattak az újságírók. Abban is szentül hitt, hogy nemcsak a földi élet, de különböző betegségek, például az influenza és a bubópestis is az űrből származnak, és azt is komolyan felvetette, hogy azért áll ki az orrunk,

orrlyukunk pedig azért nyílik lefelé, hogy a kozmikus kórokozók nehezebben hulljanak bele.

Ő használta először az „ősrobbanás” (Big Bang – Nagy Bumm) kifejezést egy tréfás pillanatában, egy 1952-es rádióadásban. Rámutatott, hogy az emberiség jelenlegi tudásának egyetlen része sem magyarázza, hogy az egy pontba összegyűlt mindenség miért kezdett egyszer csak drámai gyorsasággal tágulni. Hoyle az „állandó állapot” elmélet híve volt, amely szerint a világegyetem állandó tágulásával új anyag is keletkezik. Azzal is tisztában volt, hogy ha a csillagok összeomlanak, hatalmas hőmennyiség szabadul fel – a hőmérséklet meghaladhatja a 100 millió fokot is, ami éppen elég a nehezebb elemek létrejöttéhez szükséges magfúzióhoz. 1957-ben Hoyle és munkatársai megmutatták, hogy a nehezebb elemek hogyan jönnek létre a szupernóva-robbanások során. Egyik kollégája, W. A. Fowler Nobel-díjat is kapott. Hoyle sajnos nem, pedig megérdemelte volna.

Hoyle elmélete szerint egy csillag robbanása során elég hő keletkezne az összes új elem létrehozásához és kozmoszba lövéséhez. Az új elemek itt belekerülnek a csillagközi anyag gázfelhőibe. Később a felhők naprendszerekké tömörülnek. Ezen elmélet alapján hihető magyarázatokat lehet felépíteni a minket körülvevő dolgok keletkezésére. Jelenleg a legtöbben a következő elképzelést vallják:

Körülbelül 4,6 milliárd éve egy nagyjából 24 milliárd kilométer átmérőjű gáz- és porörvény keletkezett az űrnek ezen a részén, és elkezdett összehúzódni. Szinte az egészből – a Naprendszer tömegének 99,9%-ából – lett a Nap. A maradék lebegő anyagból két mikroszkopikus méretű szemcse elég közel került egymáshoz, hogy a tömegvonzás egymáshoz húzza őket. Ez bolygónk fogantatásának pillanata. A kezdetleges Naprendszerben sok ilyen esemény játszódott le. Az összeütköző porszemcsék egyre nagyobb rögöket alkottak. A rögök elérték azt a méretet, amikor már bolygókezdeményeknek (planetezimáloknak) lehetett őket tekinteni. Ezek tovább ütköztek másokkal, amitől vagy széttöredeztek, vagy összeálltak még nagyobb darabokká. Megszámlálhatatlanul sok megjósolhatatlan következményű találkozás történt, de minden egyes ilyennek megvolt a győztese, és a győztesek közül néhány elég nagy lett ahhoz, hogy kisajátítsa a Nap körüli pályát magának.

A dolog meglepően gyorsan elrendeződött. A kis szemcsetömörödé-sekből néhány tízezer év alatt néhány száz kilométer átmérőjű bolygócsemeték lettek. Kétszázmillió év alatt, de lehet, hogy hamarabb, készen állt a Föld, bár anyaga még nem szilárdult meg, és a még szabadon maradt törmelék folyamatosan bombázta.

Ezen a ponton, tehát 4,4 milliárd éve, egy Mars méretű tárgy ütközött a Földdel, és annyi anyagot morzsolt le róla, amennyi elég volt a Hold kialakulásához. A leszakadt részek valószínűleg hetek alatt egy csomóba rendeződtek, és egy további év elég volt ahhoz, hogy kialakuljon a gömb alakú szikla, ami a mai napig hűséges kísérőnk. A Hold anyagának legnagyobb része a Föld kérgéből származik, és nem a belsejéből; ezért van a Holdon annyival kevesebb vas, mint a Földön. Érdekes, hogy ezt az elméletet majdnem mindig friss eredményként említik, pedig a harvardi Reginald Daly már az 1940-es években felvetette. A dologban csak az az újdonság, hogy ma már van, aki elhiszi.

A Föld légköre valószínűleg akkor kezdett kifejlődni, amikor bolygónk elérte mai méretének körülbelül az egyharmadát. Ez az első légkör szén-dioxidból, nitrogénből, metánból és kénből állt. Biztosan nem ezek a gázok jutnának először eszünkbe, amikor az élet megjelenésére gondolunk, és mégis ebből a mérgező keverékből alakultak ki az első életformák. A szén-dioxid az egyik jelentős üvegházhatást okozó gáz. Ez azért volt jó, mert akkoriban a Nap sokkal kevésbé sütött. Ha nem lett volna üvegházhatás, a Föld véglegesen fagyos marad, és az élet nem tudott volna megkapaszkodni. De így mégiscsak sikerült.

A következő 500 millió év során a Földre folyamatosan záporoztak az üstökösök, meteorok és a

többi galaktikus törmelék, ami vízzel töltötte meg az óceánokat, és elhozta az élet kialakulásához szükséges többi összetevőt is. Egyedülállóan ellenséges volt a környezet, de az életfeltételek valahogy mégis megteremtődtek. Egy kis vegyszercsomagocska megrándult és életre kelt. Elkezdődött az emberhez vezető út.

Négymilliárd évvel később pedig az emberek kíváncsiak lettek, hogy vajon hogyan is következett be ez az egész. Történetünk ezzel folytatódik.

II.
A FÖLD MÉRETE

Természeten s törvényein az éj sötétje ült.
Isten szólt: – Legyen Newton! – S mindenre fény derült.
Alexander Pope, Sir Isaac Newton sírfelirata.

4.
A DOLGOK NAGYSÁGA

A Francia Királyi Tudományos Akadémia 1735-ben minden idők egyik legkevésbé kellemes tanulmányi kirándulását szervezte meg, amikor expedíciót indított Peruba. Vezetője Pierre Bouguer hidrológus és Charles Marie de La Condamine katonai matematikus volt, tagjai pedig tudósok és kalandorok. Háromszögeléssel akartak távolságokat mérni az Andokban.

Ebben az időben vált egyre többek kívánságává a Föld megismerése – tudni akarták a korát, a tömegét, a térben elfoglalt helyét, és meg akarták ismerni keletkezését. A francia expedíció célja a bolygó kerületének meghatározása volt a délkör egy fokának (vagyis a bolygó kerülete 1/360-adának) megmérésével a Quito közelében lévő Yarokitól Cuenca (ma Ecuador) utánig tartó egyenes mentén; mintegy háromszáz kilométerről van szó.[6]

A dolgok az elejétől kezdve nem mentek simán, sőt, néha borzalmasan alakultak. Quitóban a látogatók akaratlanul provokálták a helybélieket, és el kellett menekülniük a városból, nehogy megkövezzék őket. Nem sokkal később az expedíció orvosát meggyilkolták egy asszony körüli félreértés miatt. A botanikus megtébolyodott. Mások belehaltak a trópusi lázba, vagy szörnyű zuhanások során lelték halálukat. A társaság harmadik legidősebb tagja, Pierre Godin megszökött egy tizenhárom éves lánnyal, és sehogyan sem tudták rávenni, hogy visszatérjen.

Egy alkalommal nyolc hónapra fel kellett függeszteniük a tevékenységüket. Ennyi időbe telt, amíg La Condamine lóháton megjárta Limát, ahol el kellett simítania egy problémát az engedélyükkel kapcsolatban. Végül ő és Bouguer már nem is beszéltek egymással, és nem voltak hajlandók együtt dolgozni. Az egyre csökkenő csapatot a helyi tisztviselők mindenütt a legnagyobb gyanakvással fogadták, mert senki nem hitte el, hogy egy francia tudóscsoport ilyen messzire elutazik, hogy megmérje a világot. Számukra ennek nem volt semmi értelme. Kétszázötven évvel később is joggal vetődik fel a kérdés: a franciák miért nem Franciaországban mértek, hiszen ezzel megtakarították volna az andoki kalanddal járó összes bonyodalmat és fáradságot.

Az egyik válasz az, hogy a XVIII. század tudósai, főként a franciák, ritkán választották az egyszerű utat, ha adódott másik, akár képtelenül megerőltető lehetőség is. A másik válasz egy olyan gyakorlati probléma felbukkanása, amellyel először Edmond Halley angol csillagász találkozott, évekkel azelőtt, hogy Bouguer és La Condamine akár csak álmodtak volna is egy dél-amerikai útról, nemhogy okuk lett volna ilyet tervezni.

Halley kivételes ember volt. Hosszú és termékeny életútja során volt hajóskapitány, térképész, az Oxfordi Egyetem geometriaprofesszora, a Királyi Pénzverde helyettes igazgatója, királyi csillagász és feltalálta a mélytengeri búvárharangot. Nagy hozzáértéssel írt a mágnességről, az árapályjelenségről, a bolygók mozgásáról, és nagy élvezettel az ópium hatásairól. Ő találta fel a meteorológiai térképet és a biztosítási kockázati táblázatot. Módszereket javasolt a Föld korának és Naptól való távolságának megállapítására, és még azt is kitalálta, hogyan lehet a halat frissen tartani hosszabb időn keresztül. Érdekes, hogy volt viszont egy olyan dolog, amit nem vitt véghez: nem fedezte fel a nevét viselő üstököst. Egyszerűen csak megállapította, hogy az üstökös, amelyet 1682-ben látott, ugyanaz, amit mások már láttak 1456-ban, 1531-ben és 1607-ben. Az égitestet csak 1758-ban, tizenhat évvel halála után nevezték el róla.

Rengeteg tudományos eredménye mellett Halley a legtöbbet mégis azzal tette az egyetemes tudásért, hogy szerény fogadást kötött két másik érdemes tudóssal, Robert Hooke-kal (aki arról nevezetes, hogy ő írta le először a sejtet) és a nagy és tiszteletre méltó Sir Christopher Wrennel (aki elsősorban csillagász volt, és csak másodsorban építész, bár ma nem így emlékeznek rá). 1683-ban Halley, Hooke és Wren Londonban vacsoráztak, amikor a beszélgetés az égitestek mozgására terelődött. Akkoriban már tudták, hogy a bolygók keringési pályája egy ellipszisnek nevezett ovális – Richard Feynman szavaival ez „egy nagyon sajátságos és precíz görbe", de még nem tudták, miért. Wren nagyvonalúan felajánlott negyven shillinget (kétheti bért) annak, aki megmagyarázza a jelenséget.

Hooke, aki szívesen ékeskedett idegen tollakkal, azt állította, hogy már megfejtette a problémát, de a megoldást nem fogja elárulni. Erre érdekes, találékony ürügyet talált: nem akar másokat megfosztani a felfedezés örömétől... Inkább „titokban tartja egy ideig, hogy mások jobban tudják majd értékelni". Ha esetleg voltak is az ügyet érintő gondolatai, ennek bizonyítéka nem maradt fenn az utókor számára. Halleyt viszont nem hagyta nyugodni a kérdés, és a következő évben Cambridge-be utazott, ahol az egyetem matematikaprofesszorához, Isaac Newtonhoz fordult, és segítséget kért tőle.

Newton is elég furcsa ember volt – mérhetetlenül ragyogó elme, ugyanakkor magányos, örömtelen, már-már paranoiásan tüskés, legendásan szórakozott (reggel, felkeléskor, sokszor csak odáig jutott, hogy a lábát a padlóra tette, de utána még órákig az ágyban ült, mert hirtelen jó gondolatai támadtak), a legfurcsább dolgokat követte el. Laboratóriumát maga építette (ez volt az első ilyen Cambridgeben), és groteszk kísérleteket folytatott. Egyszer egy hosszú bőrvarró árral belenyúlt a szemgödrébe, és körbetapogatózott vele „szemem és a csont között, annyira hátranyúltam, amennyire csak tudtam", hogy kitapasztalja, mi történik. Csodálatosképpen semmi nem történt, vagy legalábbis semmi maradandó hatású. Máskor addig nézett a Napba, amíg csak tudott, hogy kiderítse, ez milyen hatással lesz a látására. Megint szerencséje volt, és nem történt nagy baja, bár néhány napot egy elsötétített szobában kellett töltenie, míg szeme újra a régi lett.

A kor legnagyobb lángelméjének nemcsak különös hiedelmei és furcsa jellemvonásai voltak, de még amikor hagyományos kutatásokat folytatott, akkor is különös dolgokra ragadtatta magát. Diákként nagyon zavarták a klasszikus matematika korlátai, ezért kitalált egy egészen új területet: a differenciál- és integrálszámítást, de huszonhét éven át nem osztotta meg senkivel. Fantasztikus optikai eredményei megváltoztatták a fényről addig alkotott elképzeléseket, és megalapozta a színképelemzés tudományát, de erről sem beszélt senkinek harminc éven át.

A tudományos érdeklődés ragyogó elméjének csak egy részét foglalta el. Élete munkával töltött részének legalább a felét kitöltötte az alkímia és a különféle vallási hóbortok gyakorlása. És az utóbbiakat nem is csak kóstolgatta, hanem teljes szívvel támogatta. Titokban a veszélyesen eretnek ariánus szektához tartozott, akiknek az volt a fő tantétele, hogy nincsen Szentháromság (itt jegyezzük meg, hogy Newton Cambridge-ben a Szentháromság Egyetemhez tartozott). Végtelen órákon át tanulmányozta Salamon király elveszett jeruzsálemi templomának alaprajzát (közben megtanult héberül, hogy a szövegeket eredetiben olvashassa), mert úgy gondolta, a dolognak rejtett matematikai értelme van, amiből ki lehet számítani Krisztus második eljövetelének és a világ végének dátumát. Nem kevésbé vonzódott az alkímiához sem. 1936-ban John Maynard Keynes közgazdász egy árverésen egész bőröndnyi Newton-írást vásárolt, és csodálkozva fedezte fel, hogy többségük nem optikával vagy a bolygók mozgásával foglalkozik, hanem annak fáradhatatlan kutatásával, hogyan lehet a nem nemes fémeket nemesekké változtatni. Az 1970-es években megvizsgálták Newton egy hajszálát, és rengeteg higanyt találtak benne – azt az elemet, amellyel akkoriban szinte kizárólag az alkimisták, kalaposok és

hőmérőkészítők dolgoztak – a normális szintnek körülbelül a negyvenszeresét. Nem csoda, hogy reggel néha elfelejtett felkelni...

Csak találgathatunk, hogy Halley mit is várhatott tőle, amikor váratlanul meglátogatta 1684 augusztusában. De Abraham DeMoivre, Newton bizalmasa feljegyzéseiből megtudjuk, mi is történt a tudomány történetének egyik legfontosabb találkozása során.

„1684-ben dr. Halley látogatóba jött Cambridge-be, és miután egy kicsit elbeszélgettek, a doktor megkérdezte, hogy szerinte a bolygók milyen görbét írnak le, ha a Nap vonzereje a tőle való távolságuk négyzetének reciproka."

Ez a matematika inverz négyzetes törvényként ismert szabálya, amelyen Halley meggyőződése szerint a dolog alapult, csak azt nem tudta, hogy pontosan hogyan.

„Sir Isaac azonnal azt mondta, hogy a válasz egy ellipszis. A Doktor csodálkozott és örült, és megkérdezte, hogy Sir Isaac honnan tudja. – Természetesen kiszámítottam – válaszolta, dr. Halley azonnal elkérte tőle a számítást, Sir Isaac pedig elkezdett keresgélni a papírjai között, de nem találta."

Elképesztő. Mintha valaki megtalálta volna a rák gyógymódját, de elveszíti a gyógyszer képletét. Halley kérésére Newton megígérte, hogy újrakezdi számításait és cikket ír róluk. Ígéretét teljesítette, sőt ennél tovább is ment. Két évre visszavonult gondolkodni és írni. Ennek eredménye mesterműve, a *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (A természetfilozófia matematikai alapjai), amelyet röviden *Principia*ként emlegetnek.

A történelem folyamán egyszer-egyszer az emberi elme olyan pontos és váratlan megfigyelésekre képes, hogy el sem tudjuk dönteni, mi a csodálatosabb: a találmány vagy az, hogy valakinek az eszébe jutott. A *Principia* egy ilyen eredmény. Newtont azonnal híressé tette. Élete hátralevő részében taps és dicsőség övezte, és ő volt az első, akit Britanniában a tudományos teljesítménye miatt ütöttek lovaggá. Még Gottfried von Leibniz, a nagy német matematikus, akivel Newton hosszasan, keserűen vitatkozott arról, hogy melyikük fedezte fel az integrál- és differenciálszámítást, is úgy gondolta, hogy Newton legalább annyit tett a matematika fejlődéséért, mint összes elődje együttvéve. „Egy halandó sem lehet közelebb az istenekhez." Az idézet Halleytől van, és kortársai vagy későbbi tudóstársaik közül nem sokan vitatkoztak vele.

Bár a *Principiá*t sokan „az egyik legkevésbé érthető könyvnek" tartják (Newton szándékosan írta meg így, hogy ne zaklassák a „félig-meddig matematikusok", ahogy az ilyen embereket nevezte), aki megértette, az a tudomány egyik sarokpontjának tartotta. Nemcsak az égitestek pályájának matematikai leírását adta meg, de rámutatott arra is, hogy milyen vonzerő mozgatja őket: a tömegvonzás. Innentől a világegyetem minden mozgása értelmet kapott.

A *Principia* középpontjában a három newtoni mozgástörvény (amelyek nagyon leegyszerűsítve a következők: minden abban az irányban mozog, amelyikben elindították; addig marad egyenes vonalú mozgásban, amíg egy másik erő le nem lassítja, vagy el nem téríti, és minden hatáshoz van egy vele ellentétes irányú és egyenlő mértékű ellenhatás) és az egyetemes tömegvonzási törvény áll. Az utóbbi szerint a világegyetem minden teste vonzza a másikat. Lehet, hogy ezt nem mindig tapasztaljuk, de amint az olvasó itt ül, mindent vonz – a falat, a mennyezetet, a lámpát, a kedvenc macskáját – saját kis (tényleg nagyon kicsi) gravitációs terével. És az említett dolgok is vonzzák az olvasót. Newton jött rá,

hogy két test akkora erővel vonzza egymást, ami – ismét Feynmant idézve – „arányos mindkettő tömegével, és fordítottan arányos a kettő közötti távolsággal”. Más szóval, ha megduplázzuk a két test távolságát, negyedakkora erővel vonzzák egymást. Az ezt kifejező képlet:

$$F = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$$

A fenti képlet persze nem olyasmi, aminek a legtöbben bármi hasznát vehetnénk, de annyit meg tudunk állapítani róla, hogy elegánsan tömör. Néhány kis szorzás, egy egyszerű osztás, és tessék: tudjuk, hogy milyen gravitációs viszonyban vagyunk az adott másik testtel. Ez volt az emberi elme által elsőként felismert valóban egyetemes természeti törvény, és ezért becsülik olyannyira Newtont.

A *Principia* megjelenése nem volt problémamentes. Halley nagy ijedelmére, amikor a mű már majdnem készen volt, Newton és Hooke vitázni kezdett, hogy melyikük fedezte fel az inverz négyzetes törvényt, és Newton nem volt hajlandó kiadatni a döntő, harmadik kötetet, amely nélkül az első kettőnek nem sok értelme lett volna. Halley kétségbeesetten, de diplomatikusan tárgyalt hol az egyik, hol a másik féllel, és adott esetben a hízelgéssel sem takarékoskodott. Erőfeszítéseit végül siker koronázta: a különc professzor megjelentette az utolsó kötetet is.

Halley szenvedései azonban még nem értek véget. Bár a Királyi Társaság megígérte, hogy kiadja a könyvet, később mégis visszakozott, pénzügyi nehézségekre hivatkozva. Az előző évben megjelentettek egy költséges könyvet, a *Halak történetét*, ami teljes üzleti fiaskónak bizonyult. Ezek után joggal feltételezték, hogy egy matematikakönyv kiadása sem kecsegtet túl nagy sikerrel. Halley, bár maga sem volt túl tehetős, saját zsebéből fizetett a könyv megjelentetéséért. Newton, szokása szerint, ehhez semmit nem tett hozzá. Hamarosan még egy gond adódott: Halley nem sokkal ezelőtt fogadta el a társaság titkári állását, és ekkor tudta meg, hogy a társaság nem tudja fizetni évi 50 font bérét – fizetését ezentúl a *Halak történeté*nek példányai jelentették.

Newton törvényei olyan sok mindent magyaráztak meg az árapályjelenségtől a bolygók mozgásán keresztül a kilőtt ágyúgolyók pályájáig, és azt, hogy miért nem lökődünk ki az űrbe annak ellenére, hogy a lábunk alatt a bolygó óránként több száz kilométeres sebességgel forog[7], hogy beletelt egy kis időbe, amíg annak minden következménye világossá vált. Egyik felfedezése viszont azonnal vitákat okozott.

Kiderült ugyanis, hogy a Föld nem teljesen gömbölyű. Newton törvényei szerint a Föld forgása miatti centrifugális erő hatására a bolygó a sarkoknál enyhén belapul, az Egyenlítőnél pedig kidudorodik. Ezért a délkör egy fokának hossza Skóciában más, mint Olaszországban. Minél távolabb mérjük a sarkoktól, annál rövidebbnek találjuk. Ez pedig kellemetlen hír mindazoknak, akik arra alapozták a Föld megmérését, hogy az tökéletesen gömb alakú – márpedig eddig mindenki ezt hitte.

A Föld méretét már fél évszázada próbálták meghatározni, általában akkurátus méregetéssel. Az első ilyen kísérletek egyikét Richard Norwood angol matematikus végezte. Fiatalemberként a Bermuda-háromszögbe utazott egy búvárharanggal, amely Halley eszközének másolata volt; igazgyöngyhalászattal próbált meggazdagodni. Nem sikerült, egyrészt, mert nem talált gyöngyöt, másrészt a búvárharang sem működött, de Norwood nem csüggedt el. A XVII. század elején a hajóskapitányok általában nehezen találták meg a Bermuda-szigeteket, mert az óceán nagy volt, a szigetek kicsik, a navigációs

eszközök pedig reménytelenül kezdetlegesek. Még a tengeri mérföld hossza is vita tárgyát képezte. Az óceánon pedig akkora távolságok adódtak, hogy a legkisebb számítási hiba is elég volt ahhoz, hogy a hajók elkerüljék az olyan kicsi célpontokat, mint a Bermuda-szigetek.

Norwood, akinek a hobbija a trigonometria és a szögek voltak, a londoni Towertől indulva két éven át gyalogolt az észak felé 335 kilométerre lévő Yorkba. Magával vitt egy láncdarabot, amelyet újra és újra kifeszített és lemért. Lelkiismeretesen figyelembe vette a talaj emelkedését vagy lejtését és az út görbületeit. Utolsó lépésként megmérte a Nap szögét Yorkban, méghozzá az év ugyanazon napján, és ugyanabban az időpontban, mint amikor az első mérést végezte Londonban. Ebből arra következtetett, hogy meg tudja határozni a Föld délkörének egy fokát, és ebből kiszámíthatja az egész hosszát. Szinte nevetségesen nagyra törő vállalkozás – ha egy fok tört részével elhibázza, az több kilométernyi eltérést okozhat –, de mint Norwood büszkén állította, halálpontosan dolgozott (ez valójában 550 méteres pontosságot jelentett). A számított adat végül 110,72 km lett fokonként.

1637-ben megjelent Norwood navigációs mesterműve, a *The Seaman's Practice* (A tengerész kézikönyve), és azonnal nagy sikert aratott. Tizenhét kiadást ért meg, és még a szerző halála után huszonöt évvel is újranyomták. Norwood a családjával együtt visszatért a Bermuda-szigetekre, és sikeres ültetvényes lett, szabad idejében pedig kedvenc témájával, a trigonometriával foglalkozott. Harminc-nyolc évet töltött ott, szívesen mondanám, hogy boldogan és tisztelettől övezve, de ez sajnos nem igaz. Amikor Angliából átkeltek az óceánon, két fia közös kabinba került Nathaniel White tiszteletessel, és olyan sikerrel jártak az ifjú lelkész folyamatos bosszantásában, hogy ő hátralevő életének nagy részét azzal töltötte, hogy az elszenvedett sértéseket minden lehető módon megtorolja Norwoodon.

Norwoodnak két lánya házassága miatt is elég oka volt a keserűségre. Az egyik férj – talán éppen a lelkész biztatására – apró-cseprő ügyek miatt folyamatosan perekkel ingerelte Norwoodot, akinek többször is Bermudára kellett utaznia, hogy védekezzen. Végül az 1650-es években boszorkánypereket tartottak a Bermudákon, és Norwoodnak élete utolsó éveiben azon kellett aggódnia, hogy trigonometriai munkáit a maguk misztikus jeleivel nem fogják-e az ördöggel való levelezésnek tartani, mert akkor rá rettenetes kivégzés vár. Olyan keveset tudunk Norwood-ról, hogy még az is lehet, hogy megérdemelte a sok boldogtalanságot, amelyben élete utolsó éveiben része volt. De az biztos, hogy nehéz élete volt.

Közben a Föld kerületének megmérésére irányuló szándék elérte – Franciaországot. Jean Picard csillagász kidolgozott egy lenyűgözően bonyolult háromszögelési módszert, amelyhez szükség volt kvadránsokra, ingaórákra, zenitszektor nevű műszerekre és távcsövekre (az utóbbit a Jupiter holdjainak megfigyelésére használták). Két év alatt végiggörgette és háromszögelte Franciaországot, majd 1669-ben bejelentette az egyfokos ív egy pontosabb értékét, ami szerinte 110,46 kilométer. Erre a franciák nagyon büszkék voltak, de a mérés azon a feltételezésen alapult, hogy a Föld tökéletesen gömb alakú – Newton pedig most azt állítja, hogy ez nem így van.

A dolgokat az is bonyolította, hogy Picard halála után Giovanni és Jacques Cassini, egy apa és fia, megismételte a kísérletet egy nagyobb területen, és a kapott eredményből arra lehetett következtetni, hogy a Föld a sarkokon domborodik ki, nem az Egyenlítőnél – más szóval, hogy Newton tévedett. Ez volt az oka annak, hogy a Tudományos Akadémia Bouguer-t és La Condamine-t Dél-Amerikába küldte méréseket végezni.

Azért választották az Andok-hegységet, mert az Egyenlítő közelében kellett mérniük, hogy el tudják dönteni: van-e eltérés a gömbalaktól, és mert úgy gondolták, a hegyek miatt jó látóvonalakkal tudnak majd dolgozni. De sajnos a perui hegyek majdnem mindig felhőbe burkolóztak, ezért a csapatnak

gyakran heteket kellett várnia egyórányi tiszta időre. Ráadásul a Föld egyik legáthatolhatatlanabb terepét sikerült kiválasztaniuk. A peruiak ezt a vidéket a muy accidentado („nagyon balesetes”) kifejezéssel illetik, és nem túloznak. A franciáknak nemcsak a világ legnagyobb kihívást jelentő hegyeit kellett felmérniük – olyan hegyeket, amelyek még az öszvéreknek is gyakran gondot okoztak –, de már azok elérése is nehézségekbe ütközött: vad folyókon kellett átgázolniuk, őserdőkben kellett új csapásokat vágniuk, és több kilométernyi, magasan fekvő kősivatagon kellett átkelniük. Ezek a területek nem szerepeltek a térképeken, és nem volt lehetőség semmiféle ellátmány beszerzésére. Bár Bouguerről és La Condamine-ről sok rosszat lehet elmondani, de azt nem, hogy ne lettek volna kitartók: kilenc és fél hosszú, kegyetlen, napégette éven át végezték kijelölt feladatukat. A munka vége előtt nem sokkal megtudták, hogy egy másik francia csapat, amely Észak-Skandináviában végzett méréseket (és ezzel másféle, nem kisebb kényelmetlenségeket vállalt cuppogó ingoványokban és veszélyes úszó jégtáblákon), arra jutott, hogy a délkör egy foka hosszabb a sarkoknál, ahogy Newton azt előre jelezte. A Föld 43 kilométerrel vastagabb, ha az Egyenlítőnél mérjük, mint ha a sarkok közelében.

Bouguer és La Condamine tehát majdnem egy évtizeden át küzdött az eredeti állítás cáfolatáért, és most kiderült, hogy ez még csak nem is nekik sikerült elsőként. Kutatásukat, amely az első francia csapat igazát bizonyította, teljes apátiában fejezték be. Még mindig nem beszéltek egymással. Visszatértek az óceán partjára, és külön-külön hajókon tértek haza.

Newton azt is feltételezte a *Principiá*ban, hogy ha egy függőónt engednénk le egy hegy mellett, annak a vége egy kicsit a hegy felé tartana, hiszen nemcsak a Föld tömegvonzása hatna rá, hanem a hegyé is. Ez nem csak érdekesség volt: ha az eltérés szögét pontosan meg lehetne mérni, a hegy tömegét pedig ki lehetne számítani, akkor megkaphatnánk az egyetemes gravitációs állandót – a tömegvonzás alapértékét, a G-t – és ezzel a Föld tömegét.

Bouguer és La Condamine ezt már megpróbálták a perui Csimbo-rasszón, de nem sikerült, részben a gyakorlati problémák, részben a veszekedéseik miatt, ezért a kísérletet még harminc évig nem végezte el senki, amíg az angol Nevil Maskelyne királyi csillagásznak ez eszébe nem jutott. Dava Sobel népszerű művében, a *Longitude*-ban (magyarul *Hosszúsági fok: Egy magányos géniusz igaz története, aki megoldotta kora legnagyobb tudományos problémáját* címen jelent meg) Maskelyne a negatív szereplő, aki ráadásul tökfej is, mert nem értékeli John Harrison órásmester éleselméjűségét. Ez mind igaz lehet, de akkor is hálásak lehetünk neki néhány olyan cselekedetéért, amelyeket a könyv nem említ, például a Föld megmérési módszerének kitalálásáért.

Maskelyne rájött, hogy a probléma megoldásához szükség van egy viszonylag szabályos alakú hegyre, amelynek könnyen meg lehet becsülni a tömegét. Kérésére a Királyi Társaság beleegyezett egy megbízható személy kiküldésébe, hogy kutassa át a Brit-szigeteket, és találjon egy ilyen hegyet. Maskelyne ismert is egy megfelelő embert: Charles Mason csillagászt és földmérőt. Maskelyne és Mason tizenegy évvel korábban barátkoztak össze, amikor egy nagy fontosságú csillagászati eseménnyel kapcsolatban végeztek együtt számításokat. Ez a Vénusz átvonulása volt a Nap előtt. A fáradhatatlan Edmond Halley már évekkel korábban azt állította, hogy ha egy ilyen áthaladást a Föld meghatározott pontjairól megmérünk, akkor háromszögeléssel megállapíthatjuk a Föld távolságát a Naptól, majd ebből következtethetünk a naprendszerbeli többi égitest távolságára.

Sajnos a Vénusz átvonulásai szabálytalan gyakorisággal fordulnak elő. Két ilyen történik egymás után nyolc év különbséggel, és azután legalább egy évszázadon keresztül egy sem – Halley élete során például nem volt.[8] De az ötlet már megszületett, és a következő átvonuláskor, 1761-ben (Halley halála után majdnem két évtizeddel) a világ tudósai készen álltak – jobban fel voltak készülve, mint bár-

melyik megelőző csillagászati eseményre.

A tudósok a korszakra nagyon is jellemző lelkesedéssel és odaadással a Föld több mint száz helyén készültek a megfigyelésre, többek között Szibériában, Kínában, Dél-Afrikában, Indonéziában és Wisconsin erdeiben. Harminckét megfigyelő indult Franciaországból, Angliából tizennyolc, de jöttek tudósok Svédországból, Oroszországból, Olaszországból, Németországból, Írországból és máshonnan is.

Ez volt a tudománytörténet első nemzetközi együttműködésen alapuló vállalkozása, amelynek során sajnos majdnem mindenütt problémák merültek fel. A megfigyelők közül többeket feltartóztatott a háború, a betegség vagy a hajótörés. Mások elérték úti céljukat, de a felszerelésük tönkrement a szállítás során, vagy deformálódott a trópusi melegtől. Ismét a franciák bizonyultak a legszerencsétlenebbnek. Jean Chappe hónapokon át utazott Szibéria felé kocsival, hajóval és szánon, s az út viszontagságai közben nagy igyekezettel sikerült is megóvnia törékeny műszereit. Útjának utolsó szakaszát viszont kiáradt folyók akadályozták, mert abban az évben a tavasz rendkívül esős volt. A helybéliek, látván, hogy furcsa eszközöket emel az ég felé, őt hibáztatták a szokatlan időjárásért. Chappe éppen csak az életét tudta megmenteni, nélkülözhetetlen műszereit nem.

Guillaume le Gentil még rosszabbul járt. Kalandjait Timothy Ferris csodálatosan foglalja össze *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)* című művében. Le Gentil a várható csillagászati jelenség bekövetkezte előtt egy kerek évvel indult el a tervezett megfigyelőhelyre, Indiába, de az áthaladás napján különféle kedvezőtlen fordulatok miatt még mindig egy hajón tartózkodott – a lehető legrosszabb helyen, hiszen egy hánykolódó hajóról lehetetlen pontos méréseket végezni.

Le Gentil tántoríthatatlan volt. Továbbutazott Indiába, hogy megvárja a következő áthaladást 1769-ben. Nyolc éve volt a készülődésre, ezért elsőrangú észlelőállomást építhetett, műszereit ismételten kipróbálta, és minden a legtökéletesebb készültségben várta a nagy eseményt. 1769. június 4-ének, a második áthaladás napjának reggelén csodálatos napra virradt, de amint a Vénusz megkezdte átvonulását, egy felhő takarta el a Napot, és ott is maradt majdnem az áthaladás egész időtartamára: három óra, tizennégy perc és hét másodpercre.

Le Gentil nyugalmát még ez sem rendítette meg. Összecsomagolt, és elindult a legközelebbi kikötő felé, de útközben vérhast kapott és majdnem egy évre ágyban fekvő beteg lett. Még mindig gyengélkedett, amikor végre hajóra szállhatott. Afrika partjainál hurrikánba kerültek, és majdnem hajótörést szenvedett. Amikor végre hazaért, tizenegy és fél évvel az indulása után, minden tudományos eredmény nélkül, döbbenten fedezte fel, hogy rokonai a távollétében halottnak nyilváníttatták, és lelkesen felosztották maguk között a vagyonát.

Ehhez képest a világ hat tájára szétszórt tizennyolc brit megfigyelővel nem is történtek nagy katasztrófák. Mason társa egy fiatal földmérő, Jeremiah Dixon lett, akivel valószínűleg jól megértették egymást, hiszen utána még sokáig együtt maradtak. Úti céljuk Szumátra volt, és fel is kellett volna térképezniük az odavezető utat, de egyetlen tengeren töltött nap után hajójukat megtámadta egy francia fregatt. (A tudósok között nemzetközi együttműködés volt, a nemzetek között viszont nem.) Mason és Dixon levélben jelezte a Királyi Társaságnak, hogy a hajózás rettenetesen veszélyes, és lehet, hogy az expedíciót vissza kellene hívni. Rövid és hűvös választ kaptak: a fizetésüket előre megkapták, a nemzet és a tudóstársadalom számít rájuk, és nem tesz jót a hírnevüknek, ha nem folytatják útjukat. Ekképpen rendre utasítva haladtak tovább, de útközben megtudták, hogy a franciák elfoglalták Szumátrát, és ezért az áthaladást a Jóreménység fokáról nézték végig. Hazafelé megálltak a Szent Ilona-szigeten, ahol találkoztak Maskelyne-nel, akinek a megfigyelését szintén megakadályozták a felhők. Mason és

Maskelyne tartós barátságot kötött, és több boldog, sőt hasznos hetet töltött együtt az árapály megfigyelésével.

Nem sokkal később Maskelyne hazatért Angliába, ahol királyi csillagásszá nevezték ki, míg a harcedzett Mason és Dixon útra keltek, hogy négy hosszú és kalandos évet töltsenek a veszélyes amerikai vadonban, ahol 393 kilométert tettek meg és mértek fel, hogy segítsenek egy határvita eldöntésében, amely William Penn és Lord Baltimore, illetve gyarmataik: Pennsylvania és Maryland között állt fenn. Az eredmény az Amerikában jól ismert Mason-Dixon-határ lett, amely később jelképes értelmet is kapott, hiszen ez volt az elválasztó vonal a rabszolgatartó és a szabad államok között. (Bár fő feladatuk a vonal kijelölése volt, csillagászati kutatásokat is végeztek, többek között a délkör egy fokának az egyik legpontosabb megmérését, amit ebben az évszázadban produkáltak; ez a tettük nagyobb sikert jelentett nekik Angliában, mint a két elkényeztetett arisztokrata közötti határvita eldöntése.)

Eközben Európában Maskelyne és német, valamint francia társai szomorúan ismerték be, hogy az 1761-es átvonulás megfigyelése gyakorlatilag kudarcba fulladt. A sors iróniája, hogy a sikertelenség egyik okának a mérések túl nagy száma bizonyult, mert több egymásnak ellentmondó adat is született. A Vénusz átvonulásának eredményes leírása egy szinte ismeretlen, yorkshire-i születésű hajóskapitánytól, James Cooktól származik. Ő egy napsütötte tahiti domboldalról nézte végig az 1769-es átvonulást, majd tovább végezte tevékenységét, Ausztrália feltérképezését, hogy az angol korona a gyarmataként követelhesse azt. Hazatérte után elegendő adatot tudott biztosítani Joseph Lalande francia csillagásznak ahhoz, hogy ő ki tudja számítani, hogy a Föld és a Nap átlagos távolsága 150 millió kilométer. (A XIX. században történt még két átvonulás, és akkor a csillagászok ezt az adatot 149,59 millió kilométerre pontosították, és majdnem máig ez az érvényes adat. A legújabb mérések eredménye 149 597 870,691 km.) Végre tehát meghatározták a Föld térbeli helyzetét.

Mason és Dixon a tudomány hőseiként tértek haza Angliába, és ismeretlen okból nem dolgoztak többet együtt. Ahhoz képest, hogy a XVIII. század tudományos fejlődésében hányszor játszottak főszerepet, feltűnően keveset tudunk róluk. Képmásuk nem maradt fenn, és írásos anyag is csak kevés. A *Dictionary of National Biography* (Nemzeti életrajzi lexikon) gúnyosan megjegyzi, hogy Dixonról azt mesélték, „szénbányában született”, de az olvasó képzeletére bízza a megfelelő magyarázó körülmény kiötlését, majd hozzáteszi, hogy 1777-ben halt meg Durhamben. A nevén és Masonnal való együttműködésén kívül többet nem tudunk róla.

Mason alakja is csak egy kicsit kevésbé homályos. Tudjuk, hogy 1772-ben Maskelyne nyomatékos kérésére elfogadta a megbízatást egy olyan hegy keresésére, amely megfelelő lenne a Föld gravitáció miatti torzulásának kimutatására. Nagy sokára jelentette, hogy talált egy megfelelő hegyet a Skót-felföld közepén, Loch Tay felett. A hegy neve Schiehallion. Masont azonban semmivel nem lehetett rávenni, hogy ott is töltsön egy nyarat a hegy felfedezésével. Soha nem is tért vissza arra a vidékre. Következő ismert tartózkodási helye Philadelphia, ahol 1786-ban bukkant fel váratlanul és titokzatosan, felesége és nyolc gyermeke társaságában, szemmel láthatóan a nyomor szélén. A tizennyolc évvel korábbi felmérés óta nem járt Amerikában, és nem is volt semmi oka rá, hiszen ott egyetlen barátja vagy pártfogója sem volt. Néhány hét múlva meghalt.

Mivel Mason nem volt hajlandó bejárni a hegyet, a feladat Maskelyne-re maradt. 1774 nyarán négy hónapig sátorozott egy isten háta mögötti skót hegyszorosban, és innen irányította a földmérőket, akik több száz mérést végeztek minden lehetséges irányban. Ezután következett a hegy tömegének unalmas és hosszadalmas kiszámítása a rengeteg összegyűjtött adatból. Erre egy matematikust, Charles Huttont kérték fel. A földmérők készítette térkép alapján dolgozott, ami tele volt írva a hegy és környéke pont-

jainak magasságával. Első pillantásra csak egy elrettentő számtömeg volt, de Hutton rájött, hogy ha összeköti az egyforma magasságú pontokat, az ábra sokkal rendezettebb lesz, sőt, kirajzolódik a hegy alakja is. Felfedezte tehát a szintvonalakat.

Schiehallion mért adatai és a számítások alapján Hutton arra jutott, hogy a Föld tömege 5000 millió millió tonna, amiből következtetni lehet a Naprendszer más égitesteinek méretére, például a Napéra is. Egyetlen kísérletből kiderült tehát a Föld, a Nap, a Hold, a többi bolygó és azok holdjainak tömege, és mintegy mellékesen felfedeztük a szintvonalakat is – nem is rossz eredmény egy nyár alatt.

Az eredménnyel azonban nem mindenki volt elégedett. A schiehal-lioni kísérletnek volt egy gyenge pontja: a hegy tömegét csak a sűrűsége ismeretében lehetne pontosan meghatározni. Az egyszerűség kedvéért Hutton feltételezte, hogy a hegy sűrűsége azonos egy közönséges kőével, tehát körülbelül két és félszerese a vízének, de ez nem volt több durva becslésnél.

A problémával egy látszólag teljesen laikus ember kezdett el foglalkozni. John Michell a yorkshire-i Thornhill falucska plébánosa volt. Annak ellenére, hogy Michell eldugott helyen élt, és nem álltak rendelkezésére különösebb eszközök, ő volt a XVIII. század egyik legnagyobb tudományos gondolkodója, amint az később kiderült.

Többek között ő ismerte fel a földrengés hullámtermészetét, eredeti kutatásokat végzett a mágnesességgel és a tömegvonzással kapcsolatban, és egészen rendkívüli módon – kétszáz évvel korábban, mint ahogy az bárki másnak, akár Newtonnak is eszébe jutott volna – elképzelhetőnek tartotta a fekete lyukak létezését. Amikor William Herschel német zenész eldöntötte, hogy életcélja mégis a csillagászat lesz, Michelltől kért tanácsot a távcsövek elkészítésével kapcsolatban – még a csillagászat is hálás lehet neki.[9]

Michell összes felfedezése közül a legszellemesebb és legnagyobb hatású egy gép volt, amelyet a Föld tömegének megmérésére tervezett és épített. Sajnos meghalt, mielőtt a kísérleteket elvégezhette volna, de elképzeléseit és a megvalósításukhoz szükséges eszközöket egy ragyogó elméjű, de rendkívül zárkózott londoni tudósra, Henry Cavendishre bízta.

Cavendish egy egész könyvet érdemelne. A fényűzés világába született – két nagyapja a devonshire-i, illetve a kenti herceg volt – és korának legtehetségesebb, ám legfurcsább angol tudósa volt. Kevesen írtak életéről. Egyikük szerint „már-már kóros” szerénységben szenvedett. Rettenetes kínban volt, ha valakivel érintkeznie kellett.

Egyszer, amikor ajtót nyitott, a küszöbön egy egyenesen Bécsből érkezett osztrák tisztelője állt. A látogató izgatottan kezdett a tudós dicséretébe. Cavendish néhány pillanatig úgy hallgatta, mintha tompa, súlyos tárggyal fejbe vágták volna, majd zavarában a bejárati ajtót nyitva hagyva kifutott a kertkapun. Több órába telt, amíg haza tudták csalogatni. Még a házvezetőnőjével is csak levélben érintkezett.

Bár néha elmerészkedett egyes társas összejövetelekre – Sir Joseph Banks, a nagy természetbúvár heti tudományos estélyeit különösen kedvelte –, a többi vendégnek mindig megmondták, hogy Cavendisht nem szabad megszólítani, sőt, rá sem szabad nézni. Aki a véleményére volt kíváncsi, annak azt tanácsolták, hogy mintegy véletlenül sodródjon a közelébe, és „beszéljen bele a levegőbe”. Ha a megjegyzésnek tudományos értéke van, lehet, hogy Cavendish a bajusza alatt elmotyogja a választ, de sokkal valószínűbb, hogy bosszúsan nyikkan egyet (a leírásokból feltételezzük, hogy magas hangja volt), és menedéket keres a terem egy békésebb sarkában.

Elég gazdag volt ahhoz, hogy claphami házát hatalmas laboratóriummá alakíttassa, ahol zavartalanul kóborolhatott a különféle természettudományok között, és nem kellett másokkal együtt dolgoznia.

Foglalkozott elektromossággal, hővel, gravitációval, gázokkal, és mindennel, aminek köze van az anyag összetételéhez. Aki egy kicsit is érdeklődött a természettudományok iránt a XVIII. század második felében, az az alapvető dolgok, főleg a gázok és az elektromosság fizikai tulajdonságaival foglalkozott. Kezdték látni, mi mindenre használhatók, de a lelkesedés sokszor nagyobb volt a hozzáértésnél. Az amerikai Benjámin Franklin, mint köztudott, egyszer egy elektromos viharban sárkányröptetéssel kockáztatta az életét. A francia Pilatre de Rozier vegyész úgy vizsgálta a hidrogén gyúlékonyságát, hogy szájába vett valamennyit, majd nyílt láng felé fújt vele. Azonnal sikerült bebizonyítania, hogy a hidrogén éghető, sőt robbanékony, valamint, azt is, hogy a szemöldök nem szükségképpen állandó része az emberi arcnak. Cavendish olyan kísérleteket is végzett, amelyek során egyre erősebb áramütéseknek tette ki magát, és precíz feljegyzéseket vezetett a kiállott kínról, amíg az író-toll ki nem esett a kezéből, vagy eszméletét nem vesztette.

Cavendish hosszú élete során egy sor kiemelkedő felfedezést tett – többek között ő állított elő elsőként vegytiszta hidrogént, ő egyesítette először azt oxigénnel, és kapott eredményül vizet – de szinte minden felfedezéséhez valami furcsaság kapcsolódik. Tudóstársai növekvő bosszúságára tudományos műveiben gyakran utalt olyan kísérletek eredményére, amelyekről rajta kívül senki sem tudott. Még Newtonnál is jobban titkolózott. Elektromos vezetőképességet vizsgáló kísérletei egy egész évszázaddal megelőzték korukat, de sajnos nem is szerzett róluk senki tudomást majdnem száz éven keresztül. Egyéb tevékenységének nagyobbik fele is titokban maradt a XIX. század végéig, amikor James Clerk Maxwell cambridge-i fizikus nekilátott Cavendish írásainak rendezéséhez – ekkor kiderült, hogy eredményei legtöbbjét azóta valaki más már újra felfedezte.

Cavendish volt például az első, aki rájött az energiamegmaradás törvényére és annak következményeire, az Ohm-törvényre, a Dalton-törvényre, a Richter-féle sztöchiometriai szabályra, Charles gáztörvényére és az elektromos vezetés alapelvére. És ez csak egy kis válogatás. J. G. Crowther tudománytörténész szerint „Cavendish sejtette Kelvin és G. H. Darwin felfedezését, hogy az árapálysúrlódás lassítja a Föld forgását... és Roseboom eredményeinek egy részét a heterogén egyensúllyal kapcsolatban”. Cavendish maga után hagyott egyes rávezető jeleket, amelyektől egyenes út vezetett a nemesgázok elemcsoportjának felfedezéséhez, amelyek egyike-másika olyan nehezen megfogható, hogy az utolsót csak 1962-ben fedezték fel. Minket itt az utolsó ismert kísérlete érdekel, amikor, 1797 nyarának végén, hatvanhét éves korában figyelmét arra a többládányi műszerre fordította, amelyeket – nyilván tudományos megbecsülése jeleként – John Michell hagyott rá.

Amikor Cavendish összeszerelte Michell gépét, az körülbelül úgy nézett ki, mint a testformáló kondigépek XVIII. századi változata. Súlyokat és ellensúlyokat, ingákat, tengelyeket és torziós szálakat tartalmazott. A gép közepén két 160 kilogrammos ólomgolyó volt felfüggesztve két kisebb gömb mellett. A cél a kisebb golyók gravitációs elhajlásának vizsgálata volt, amelyet a nagy ólomsúlyoknak kellett okozniuk, és ami lehetővé tette a gravitációs állandóként ismert, nehezen megragadható erő első megmérését, amelyből a Föld tömege (és nem a súlya)[10] kikövetkeztethető.

Mivel a tömegvonzás a bolygókat a pályájukon tartja, a nem jól alátámasztott tárgyakat pedig a földre kényszeríti, hajlamosak vagyunk erős erőnek tekinteni, pedig nem az. Csak akkor erős, ha valahol sok tömeg gyűlik össze, például amikor a Nap vonzza a Földet. Elemi szinten a tömegvonzás hatása nagyon kicsi. Amikor egy könyvet felveszünk az asztalról, vagy lehajolunk egy elgurult kétforintos után, nem jelent gondot az egész bolygó tömegvonzásának legyőzése. Cavendish tehát ebben a pehelysúlyú kategóriában próbálta megmérni a gravitációs állandót.

A dolog kulcsa a körültekintés volt. A berendezést tartalmazó szobában nem volt szabad még sut-

togni vagy mozogni sem; Cavendish is a szomszédos szobából figyelte a kísérletet egy kis lyukon át bedugott távcsővel. A munka nagy pontosságot kívánt, és tizenhét összefüggő mérésből állt, amelyeket körülbelül egy év alatt sikerült elvégeznie. Számításai elkészültével Cavendish bejelentette, hogy a Föld tömege egy kicsit több mint 13 000 000 000 000 000 000 000 font, vagyis hatmilliárd billió tonna.

A mai tudósoknak olyan pontos gépek állnak rendelkezésükre, amelyekkel akár egyetlen baktériumot is meg lehet mérni; olyan érzékenyek ezek a műszerek, hogy a mérési eredményt befolyásolja, ha valaki ásít a szomszéd házban. Sokat azonban nem pontosítottak Cavendish 1797-es mérésein. A Föld tömege jelenlegi tudásunk szerint 5,9725 milliárd billió tonna, ami csak körülbelül 1%-kal tér el Cavendish adatától. Érdekes, hogy mindez csak megerősítette Newton becslését, amelyet 110 évvel Cavendish előtt tett, mindenféle kísérlet nélkül.

Tehát a XVIII. század végére a tudósok egészen pontosan ismerték a Föld alakját, méretét és távolságát a Naptól és a többi bolygótól; most pedig Cavendish a szobája négy fala közül megmondta a tömegét is. Gondolhatnánk, hogy a Föld korának megállapítása sem jelenthet nagy gondot, hiszen az ehhez szükséges anyagok a szó szoros értelmében a lábunknál hevernek. De nem. Az ember már belepiszkált az atomba, feltalálta a televíziót, a nejlont és az azonnal oldódó kávét, mire rájött, hogyan állapítsa meg saját bolygója korát.

Ahhoz, hogy ennek okát megtudjuk, északra, Skóciába kell utaznunk, és meg kell ismerkednünk egy ragyogó elmével, akiről nem sokat hallani: azzal az emberrel, aki felfedezett egy új tudományt, a geológiát.

5.
A KŐTÖRŐK

Abban az időben, amikor Henry Cavendish befejezte kísérleteit Londonban, hatszázötven kilométerrel odébb, Edinburghban is fontos pillanat következett be James Hutton halálával. Ez természetesen Hutton életének szomorú momentuma volt, a tudomány története szempontjából viszont kedvező fordulat: szabad volt végre az út John Playfair előtt; félelem és zavar nélkül írhatott már Hutton munkájáról.

Minden elbeszélő megegyezik abban, hogy Huttonnek éles meglátásai voltak, és szórakoztató volt vele beszélgetni; a társaság középpontja volt, és senki nem értette nála jobban a titokzatos, a Földet kialakító folyamatokat. Sajnos nem hagyta ránk gondolatait, legalábbis nem olyan formában, amit bárki megfejthetne. Egyik életrajzírója hangos sóhajtással jegyzi meg, hogy „szinte teljesen hiányoztak belőle a retorikai készségek". Gyakorlatilag nincs olyan leírt sora, ami ne ringatná azonnal álomba az olvasót. Álljon itt egy idézet 1795-ös mesterművéből, amelynek a címe *A Theory of the Earth with Proofs and lllustration* (A Föld elmélete bizonyításokkal és ábrákkal), a témája pedig... nos, valami...

> „A világ, amelyet benépesítünk, nem a jelenlegi Föld közvetlen elődjének anyagaiból áll, hanem azéból, ami, ha a jelen felől közelítjük meg, harmadiknak tekinthető, és ami megelőzte azt a földet, ami a tenger szintje felett volt, amikor jelenlegi földünk még az óceán alatt volt."

Ennek ellenére szinte egymaga (és zseniális módon) megteremtette a geológia tudományát, és átalakította az ember Földről alkotott képét.

Hutton 1726-ban született jómódú skót családban, és megengedhette magának, hogy olyan kutatásokat végezzen, amelyekhez éppen kedve volt, és elméjét tetszése szerint tágíthassa. Orvoslást tanult, de utána inkább gazdálkodással foglalkozott a maga kényelmes, ugyanakkor tudományos módján, a család berwickshire-i birtokán. 1768-ban megunta a növénytermesztést és az állattenyésztést, Edinburghba költözött, és sikeres vállalkozásba kezdett. Gyárában szalmiáksót állítottak elő szénkoromból, de mellette foglalkozott többféle tudományággal is. Edinburgh abban az időben a tudományos pezsgés középpontja volt, és Hutton tobzódott a lehetőségekben. Vezető tagja lett az Oyster (Osztriga) Club nevű társaságnak, ahol estéit olyan emberek társaságában tölthette, mint a közgazdász Adam Smith, a vegyész Joseph Black és a filozófus David Hume, de be-benézett a klubba Benjámin Franklin és James Watt is.

Huttont, ahogyan az akkoriban szokásos volt, minden érdekelte az ásványtantól a metafizikáig. Vegyi anyagokkal kísérletezett, új szénbányászati és csatornaépítési eljárásokat próbált ki, sóbányákat látogatott, az öröklés törvényeiről tűnődött, ősmaradványokat gyűjtött és elméleteket gyártott az eső keletkezéséről, a levegő összetételéről és a mozgás törvényeiről, hogy csak néhány tevékenységét említsük. De leginkább a geológia érdekelte.

Abban a korban az emberek minden iránt érdeklődtek. Az egyik legrégebbi rejtély az volt, hogy vajon miért találnak olyan gyakran a hegyek tetején köveket kagylók és más tengeri lények lenyomataival. Hogy az ördögbe kerültek oda? Két egymásnak ellentmondó magyarázat volt a legnépszerűbb. A

neptunisták szerint a Föld minden jelensége (beleértve a valószínűtlenül magas helyeken talált kagylókat) a tengerszint gyakori változásával magyarázható. Úgy gondolták, hogy a hegyek, dombok és más domborzati elemek a Földdel egykorúak, és csak a globális áradások változtatják meg azokat.

A plutonisták szerint a vulkánok, földrengések és más tényezők állandóan változtatják a Föld domborzatát, de a kiszámíthatatlan tengerek nem. Felvetették azt a kínos kérdést is, hogy hová lesz a víz, amikor éppen nem özönli el az egész Földet. Ha időnként elég van belőle az Alpok befedéséhez, akkor vajon hol van szárazabb időkben, például most? Úgy gondolták, a Földet a mélyéből jövő és a felszínére ható erők egyaránt alakíthatják. De azt nem tudták megmagyarázni, a kagylóhéjak vajon mit keresnek a hegytetőn.

Amikor Hutton egyszer ezen a kérdésen töprengett, különleges ötletei támadtak. Saját földjein is tapasztalta, hogy a termőtalaj a kövek eróziójából keletkezik, és a talajszemcséket a patakok és folyók egy darabig elviszik, majd ott lerakják. Felismerte, hogy ha ez a folyamat elég sokáig folytatódik, a Föld a végén teljesen sima lesz. Maga körül azonban dombvidéket látott. Kell tehát, hogy legyenek másféle folyamatok, valamilyen megújulás, kiemelkedés, ami új dombokat, hegyeket hoz létre, hogy a körforgás folytatódhasson. Úgy gondolta, hogy a dombtetőn talált tengeri maradványokat nem özönvíz hagyta ott, hanem magával a dombbal együtt emelkedtek ki. Arra is rájött, hogy a Föld belsejében lévő hő hozza létre az új köveket, sziklákat és földrészeket, és veti fel a hegyláncokat. Kétszáz évnek kellett eltelnie, hogy a geológusok ennek a gondolatnak minden vonzatát megértsék, amikor végre elfogadták a lemeztektonika elméletét. Hutton elgondolásai szerint ráadásul a Földet kialakító folyamatok roppantul hosszú idő alatt játszódtak le, sokkal lassabban, mint ahogyan azt addig gondolták. Ez és többi elmélete teljesen megváltoztatta a tudósoknak a Földről addig alkotott képét.

1785-ben Hutton hosszú cikkben ismertette gondolatait, amelyet azután folytatásokban olvastak fel az Edinburghi Királyi Társaság ülésein. Szinte senki nem figyelt fel rá. Nem is csoda. Lássunk egy részletet abból, hogyan adta elő ragyogó elméletét a hallgatóságnak:

> „Egyik esetben az alakító erő a szétválasztott testben van, mivel, miután a testet a hő működésbe hozta, az a test megfelelő anyagának reakciójából származik, mivel az eret alkotó hasadék kialakul. A másik esetben az ok külső, tehát nem abból a testből származik, amelyben a hasadék keletkezett. Nagyon heves törés és szakadás történt, de ennek, oka még nem ismert, és úgy tűnik, hogy forrása nem a telérképződés, mert szilárd Földünk nem minden törésében és vetődésében találni ásványokat vagy ásványtelérek megfelelő anyagait.”

Mondanunk sem kell, hogy a közönség soraiban szinte senkinek nem volt a leghalványabb fogalma sem arról, hogy Hutton miről beszél. Barátai bátorították, hogy elméletét fejtse ki bővebben, hátha a bővebb megfogalmazás segíti az érthetőséget is. A következő tíz évet főművének megalkotásával töltötte, amelyet 1795-ben, két kötetben adtak ki.

A két könyv együtt majdnem ezer oldalt tett ki, és legborúlátóbb barátai elvárásainál is rosszabbul sikerült. Hogy mást ne említsünk, a kész mű majdnem fele francia forrásokból származó idézetekből állt, lefordítatlanul. Egy harmadik, legalább ilyen kevéssé ígéretes kötet is készülőben volt, de csak 1899-ben, Hutton halála után több mint száz évvel adták ki, a negyediket pedig soha. Huttonnek *A Föld elmélete* című műve joggal pályázhatna a „legritkábban olvasott fontos tudományos mű” címre, ha nem lenne még jó néhány ilyen. Még Charles Lyell, a következő évszázad legnagyobb geológusa (egy rengeteget olvasó tudós) is beismerte, hogy nem tudta átrágni magát rajta.

Szerencsére Huttonnek volt egy Boswellje[11] John Playfair személyében. Playfair az Edinburghi Egyetem matematikaprofesszora és Hutton jó barátja volt, aki nemcsak élvezetesen fogalmazott, de a geológus mellett töltött éveknek köszönhetően legtöbbször értette is, hogy Hutton mit próbál kifejezni. 1802-ben, öt évvel Hutton halála után, Playfair összeállította Hutton tételeinek egyszerűsített összefoglalását. A mű címe: *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth* (Példák a huttoni Föld-elméletre). A geológia iránt érdeklődők hálás örömmel fogadták megjelenését – 1802-ben persze nem sok ilyen ember volt. Ez a helyzet azonban hamarosan nagyot változott.

1807 telén tizenhárom hasonlóan gondolkozó londoni jött össze a Covent Gardenben lévő Freemasons kisvendéglőben, hogy megalakítsák a Geológiai Társaság nevű asztaltársaságot. Úgy tervezték, hogy havonta egyszer találkoznak, hogy geológiai eszmecserét folytassanak egy-két pohár madeira és egy kellemes vacsora mellett. A vacsora árát kemény 15 shillingben szabták meg, hogy ezzel kizárják azokat, akiket csak a szellemi táplálék érdekelte volna. Hamarosan azonban nyilvánvalóvá vált, hogy ennél intézményesebb keretekre van szükség, például állandó főhadiszállásra, ahol az új felfedezéseket be lehet mutatni, és meg lehet beszélni. Az első évtized során a taglétszám 400-ra nőtt – természetesen csak urak jöhettek szóba – és a Geológiai Társaság már-már olyan rangos tudományos intézmény lett, mint a Királyi Társaság.

A tagok novembertől júniusig havonta kétszer találkoztak, majd szinte mindannyian nyári terepmunkára mentek. Nem olyan emberekről van itt szó, akiknek anyagi érdeke fűződött az ásványokhoz, és legtöbben még csak nem is voltak tudósok, egyszerűen csak olyan nemesemberek, akiknek elég pénzük és idejük volt ahhoz, hogy egy hobbit többé-kevésbé hivatásos szinten űzzenek. 1830-ra 745-en voltak; a világ azóta sem tapasztalt ilyesmit.

Ma már nehéz elképzelni, de a geológia annyira lázba hozta a XIX. században az embereket, ahogyan az sem előtte, sem azóta nem sikerült egyetlen tudományágnak sem. 1839-ben, amikor megjelent Roderick Murchison *The Silurian System* (A szilurrendszer) című könyve, amely a grauwacke nevű kőzetfajtáról szólt – hosszasan és nehézkesen – ez azonnal a sikerkönyvek listájára került, és egymás után négy kiadást ért meg, pedig egy példány ára nyolc font volt, és valódi huttoni stílusban íródott (vagyis olvashatatlan volt). (Még az egyik komoly murchisonista olvasó is hiányolta a mű „irodalmi vonzerejét”.) És amikor 1841-ben a nagy Charles Lyell Amerikába ment, hogy előadás-sorozatot tartson Bostonban, háromezer fős telt ház előtt mesélhetett a nem túl érdekes tengeri zeolitokról és a campaniai szeizmikus zavarokról.

Az egész modern, gondolkodó világban, de főként Angliában, tanult emberek mentek vidékre egy kis „kőtörésre”, ahogyan emlegették. Hobbijukat komolyan vették, és úgy is öltöztek hozzá: cilindert és sötét öltönyt viseltek, kivéve az oxfordi William Buckland tiszteletest, aki az egyetemi talárjában végezte a terepmunkát.

A kőtörők között sok rendkívüli figura volt, például az előbb említett Murchinson, aki élete első harminc évét rókavadászatokon, illetve kecsesen repülő madarak lelövöldözésével töltötte, és szellemi energiái lekötésére bőven megfelelt a *The Times* olvasása és egy-egy kártyaparti. Azután egyszer csak érdekelni kezdte a geológia, és meglepően rövid időn belül ő lett a geológia elméletének egyik óriása.

Egy másik említésre méltó geológus dr. James Parkinson, aki korai szocialistaként több provokatív röpiratot is írt, ilyen címekkel: Revolution without Bloodshed (Forradalom vérontás nélkül). 1794-

ben belekeveredett az egyik, kicsit őrült nevű mozgalomba, a „játékpuskások” közé, akik azt tervezték, hogy a színházi páholyában ülő III. Györgyöt mérgezett hajítódárdával nyakon lövik. Parkinsont kihallgatta a Titkos Tanács, és kevés híján vasra verve küldték Ausztráliába, de azután csendben ejtették az ellene felhozott vádakat. Ettől fogva kicsit konzervatívabb módon viszonyult az élethez, például geológiai kísérletekbe kezdett, és ő lett a Geológiai Társaság egyik alapítója, és egy geológiai alapmű, az *Organic Remains of a Former World* (Egy előző világ szerves maradványai) című könyv szerzője; e mű fél évszázadon keresztül kapható volt. Írója soha többé nem okozott semmiféle problémát. Ma leginkább az akkoriban „reszkető hűdésnek” nevezett, ma Parkinson-kórként ismert betegségről szóló alaptanulmány szerzőjeként ismerjük. (Parkinson másról is híres. 1785-ben ő lett az egyetlen ember a világon, aki valaha sorsjátékon természetrajzi múzeumot nyert.[12] A múzeum a londoni Leicester téren állt, és Sir Ashton Lever alapította, aki később tönkre is ment a természeti csodák féktelen felvásárlásában. Parkinson 1805-ig tartotta meg a múzeumot, de mivel tovább már nem tudta fenntartani, a gyűjtemény kiárusították.) Lehet, hogy Charles Lyell nem volt ilyen különleges figura, viszont befolyásosabb volt, mint a többiek együttvéve. Hutton halálának évében, tőle csak 100 kilométerre született Kinnordy faluban. Származása szerint skót volt, de Anglia legdélebbi vidékén nőtt fel, a hampshire-i New Forestben, mert anyja meg volt győződve, hogy minden skót gyarló és iszákos. A XIX. századi úri tudósokhoz hasonlóan Lyell is kényelmes anyagi háttérrel és jó szellemi képességekkel rendelkezett. Szintén Charles keresztnevű apja, Dante és a mohák ritka szakértője volt. (Az angol vidékre utazó turisták valószínűleg már mind ültek Orthotricium lyelli nevű mohán, ami az ő nevét viseli.) Lyell természettudományos érdeklődését tehát részben apjától örökölte, de véglegesen Oxfordban kötelezte el magát a geológia tudományának, William Buckland tiszteletes hatására (emlékszünk rá, ő csákányozik talárban).

Buckland elragadó különc volt. Természetesen voltak tudományos eredményei is, de legalább ugyanannyira emlékezetesek hóbortjai is. Egész állatseregletet tartott otthonában vadon élő állatokból, amelyek között voltak nagyok és veszélyesek is, ennek ellenére szabadon kóborolhattak a házban és a kertben – viszont bizonyos veszélyben is forogtak, ugyanis Buckland feltett szándéka volt, hogy megkóstol minden teremtett lényt (állatot). Buckland vacsoravendégei ki voltak téve a házigazda szeszélyének és az éppen rendelkezésre álló fajoknak, így megeshetett, hogy sült tengerimalac, tésztában sült egér, roston sült sündisznó vagy főtt dél-ázsiai tengeri uborka került az asztalra. Buckland minden fogásban talált valami figyelemre méltót, kivéve a közönséges kerti vakondban, amelyet undorítónak tartott. Szinte természetes volt, hogy ő lett a megkövült bélsár legnagyobb szakértője; egész asztalnyi magángyűjteménye volt az utóbbi természeti kincsekből.

Modora még akkor is különös volt, amikor komoly tudományos kérdésekkel foglalkozott. Egyszer Mrs. Buckland arra ébredt az éjszaka közepén, hogy férje felrázza, mert mindenképpen meg kellett osztania vele legújabb felfedezését:

– Azt hiszem, drágám, hogy a Cheirotherium lábnyomai kétségkívül teknősbékaszerűek.

Hálóruhában siettek a konyhába. Mrs. Buckland tésztát gyúrt, és kinyújtotta az asztalon. Buckland tiszteletes fogta a család teknősbékáját és a tésztára helyezte, majd arra nógatta, hogy előrehaladjon. Nagy örömükre látták, hogy lábnyomai valóban olyanok, amilyeneket Buckland éppen tanulmányozott. Charles Darwin Bucklandet pojácának tartotta, de Lyellt, úgy látszik, megihlette, és viszonylag elviselhetőnek tarthatta a társaságát, hiszen 1824-ben együtt járták be Skóciát. Az utazás után Lyell véglegesen lemondott a jogi pályáról, és minden idejét a geológiának szentelte.

Lyell rettenetesen rövidlátó volt; életének legnagyobb részét hunyorogva töltötte, ami fájdalmas

arckifejezést kölcsönzött neki. (Élete vége felé teljesen megvakult.) Másik furcsasága az volt, hogy ha nagyon elgondolkodott, különös testtartásokat vett fel, például lefeküdt két egymás mellé tolt székre, vagy „állás közben fejét a szék ülőkéjére támasztotta" (Darwin barátja szavai szerint). Amikor gondolataiba mélyedt, néha annyira lecsúszott a székről, hogy már majdnem a padlón ült. Lyellnek egész életében csak egy igazi állása volt: a londoni King's College tanáraként működött 1831-től 1833-ig. Ebben az időben írta meg *Principles of Geology* (A geológia alapelvei) című háromkötetes művét. A kötetek 1830 és 1833 között jelentek meg, és nagyrészt Hutton egy generációval korábban született gondolatait foglalták össze, illetve egyeseket részleteztek ezek közül. (Bár Lyell Hutton egyetlen eredeti művét sem olvasta, Playfair átdolgozását alaposan áttanulmányozta.)

Hutton és Lyell kora között vita volt egy kérdésben, de erről nem sokan tudnak, vagy aki igen, az összetéveszti a közismertebb neptuniánus-plutoniánus vitával. Itt a kataklizmaelmélet és az aktualizmus (uniformitarianizmus) közötti különbségről volt szó – ezek a kifejezések azonban sajnos nem igazán jól adják vissza a fontos és hosszadalmas vita lényegét. A katasztrofisták úgy gondolták, hogy a Földet hirtelen, katasztrofális események alakítják, főleg árvizek – valószínűleg ezért tévesztik néha össze a katasztrofizmust a neptuniánusokkal. A katasztrofizmus eszméje azért volt különösen kedves az egyházi embereknek, például Bucklandnek, mert így a Noé-féle bibliai özönvizet példaként hozhatták fel tudományos értekezéseikben. Az aktualisták viszont a Föld változásait fokozatosnak tartották, és azt vallották, hogy az azzal kapcsolatos folyamatok nagyon lassan, mérhetetlen hosszú idő alatt történnek. Ez utóbbi inkább Hutton gondolata volt, mint Lyellé, de mivel a legtöbben csak Lyell műveit olvasták, a mai napig általában őt tartják a modern geológia atyjának.

Lyell szerint a Föld törészónáiban történő elmozdulások egyenletesek és folyamatosak. Minden múltban történt esemény megmagyarázható a ma is folyamatban lévőkkel. Lyell és követői nemcsak elvetették a katasztrofizmus elméletét, hanem egyenesen irtóztak tőle. A katasztrofisták úgy gondolták, hogy az állatfajok időről időre kihalnak, és helyettük mindig újak keletkeznek – T. H. Huxley természetkutató ezt ahhoz hasonlította, amikor a „whistben egy robber után újraosztják a kártyát". Túl egyszerű magyarázat volt ez az ismeretlen megmagyarázására.

„Ez a tan az emberi hanyagságra épül, és azoknak való, akik nem kíváncsiak a teljes igazságra" – ez volt Lyell véleménye.

Lyell sok mindenben tévedett. Nem adott meggyőző magyarázatot arra, hogyan jöttek létre a hegyláncok, és nem fedezte fel a gleccserek domborzatalakító szerepét sem. Nem fogadta el Louis Agassiz jégkorszakelméletét –, „a bolygóból bizonyára hógolyó lett", ahogyan gúnyosan megjegyezte – és biztos volt abban, hogy a legrégebbi kövületekben is emlősök maradványaira fognak rátalálni. Elutasította az állat- és növényfajok hirtelen kihalásának lehetőségét, és úgy gondolta, a fő állatcsoportok – emlősök, hüllők, halak stb. – mind megvoltak az idők kezdete óta. Ezekben a kérdésekben bizony tévedett, ahogyan az később kiderült.

Lyell tudományos jelentősége ennek ellenére felbecsülhetetlen. A geológia alapelvei tizenkét kiadást ért meg csak Lyell élete folyamán, és a benne leírt geológiai elvek még a huszadik században is hatottak. Darwin magával vitt egy példányt az első kiadásból a *Beagle*-re, és később így írt róla: „A geológia alapelvei legnagyobb érdeme, hogy áthangolja az ember gondolkodását, és ha valami olyat lát, amit Lyell nem láthatott, szinte az ő szemével nézi." Egyszóval: félistennek tartotta, mint kortársai közül oly sokan. Lyell hatalmának bizonyítéka, hogy az 1980-as években a geológusok majdnem belehaltak, amikor el kellett vetniük a lyelli elmélet egy részét a kihalások becsapódásos elméletének kedvéért. De ez már egy másik történet lesz.

Közben a geológiának még sok dolga volt, és nem minden ment simán. A geológusok kezdettől fogva aszerint próbálták osztályozni a kőzeteket, hogy melyik korból származtak, de nem volt könnyű megállapítani a korszakok határát. Néha elkeseredett viták is folytak a kérdésről – a legemlékezetesebb talán a devon korról való nagy vita volt. A dolog úgy kezdődött, hogy a cambridge-i Adam Sedgwick tiszteletes egy kőzetrétegről azt állította, hogy a kambriumból származik, Roderick Murchison viszont azt állította, hogy csak sziluri lehet. A vita éveken át egyre hevesebben folytatódott. „De la Beche egy piszok kutya" – írta Murchison egy barátjának, és nem ez volt a legvadabb jelző, amit vitabeli ellenfeleire használt.

Talán megérezzük, milyen erők csaptak itt össze, ha elolvassuk Martin J. S. Rudwick kiváló és tárgyilagos beszámolójának fejezetcímeit. A nagy devon kori vita első fejezetei még eléggé ártalmatlanok: „Arenas of Gentlemanly Debate" (Úriemberek közötti viták) és „Unraveling the Greywacke" (A grauwacke megfejtése), de azután ilyenek következnek: „The Greywacke Defended and Attacked" (Védik és támadják a grau-wackét), „Reproofs and Recriminations" (Korholások és visszavágások), „The Spread of Ugly Rumors" (Csúnya pletykák terjedése), „Weaver Re-cants His Heresy" (Weaver visszavonja eretnek tanait), „Putting a Provinciai in His Place" (Egy vidéki a helyére kerül) és (ha esetleg valaki még nem vette volna észre, hogy itt háború folyik) „Murchison Opens the Rhineland Campaign" (Murchison megkezdi a rajna-vidéki hadjáratot). A harcnak végül 1879-ben úgy lett vége, hogy beszúrtak a két korszak közé egy harmadikat, az ordovíciumot.

Mivel a geológiával először főként csak britek foglalkoztak, a geológiai lexikonban túlsúlyban vannak a brit nevek. A devon korszak a nevét természetesen az angol Devon megyéről kapta. A „kambrium" Wales egy római településére utal, az „ordovícium" és a „szilur" az ordovicok és szilurok ősi walesi törzsének neve volt. Amint a geológia máshol is fejlődésnek indult, mindenféle új név tűnt fel. A „jura" a Franciaország és Svájc határán lévő Jura hegységről kapta a nevét. A „perm" Oroszországnak az Ural tövében fekvő Perm tartományára utal. A „kréta" latin eredetű (krétát jelentő) elnevezést a belga J. J. d'Omalius d'Halloy geológusnak köszönhetjük (valószínűleg elege volt a bonyolult nevekből).

Eredetileg négy geológiai korszakot különböztettek meg: ókor, másodkor, harmadkor és negyedkor. Ez túl egyszerűnek bizonyult, ezért a geológusok hamarosan új határokat vezettek be, másokat pedig eltöröltek. Az ókort és a másodkort már egyáltalán nem használják, a negyedkort egyesek még igen. Ma már csak a „harmadkor" megnevezés maradt általános használatban, bár már nem jelent semmilyen tekintetben harmadik korszakot.

Lyell *A geológia alapelvei*ben további egységeket vezetett be, a korokat, más néven epochákat vagy rétegsorrendeket, hogy meg tudjuk nevezni a dinoszauruszok kora óta eltelt időszak részeit, például a pleisztocént („legújabb"), a pliocént („újabb"), a miocént („közepesen új") és a kedvesen kitalált oligocént („szinte már nem is új"). Lyell eredetileg „-szinkron" utótaggal szerette volna ellátni az elnevezéseket (pl. meio-szinkron vagy pleioszinkron), de a befolyásos William Whewell tiszteletesnek ez ellen etimológiai kifogásai voltak, így egyeztek ki végül a rövidebb formákban.

Ma az őstörténeti korszakok csoportosításánál először négy nagy korszakot (érát) különböztetünk meg: prekambrium, paleozoikum (ókor, a görög „régi élet" kifejezésből), mezozoikum (középkor vagy másodkor) és kainozoikum (újkor vagy harmad- és negyedkor). A korszakok tizenkét-húsz kisebb szakaszra tagolódnak, ezeket időszaknak vagy kornak, néha rendszernek nevezik. Legtöbbjük neve nem cseng ismeretlenül: kréta, jura, triász, szilur és így tovább.[13]

Utána következnek Lyell korai, a pleisztocén, a miocén és a többi, ami a legutóbbi (őslénytanilag

nagyon izgalmas) 65 millió év beosztását jelenti, majd végül ott van még ezeken belül sok rövidebb korszak vagy emelet. Ezek legtöbbjét jobb híján földrajzi helyek (például Illinois, Desmoines, Croix vagy Kimmeridge) után nevezték el, és John McPhee szerint „több tíz tucat" van belőlük. Van azért jó hírem is: ha az olvasó nem csap fel geológusnak, ezeket az elnevezéseket soha nem fogja hallani.

A dolgokat tovább bonyolítja, hogy ezeknek a rövidebb korszakoknak más neve van Észak-Amerikában, mint Európában, sőt időben is csak körülbelül fedik egymást. Tehát például az észak-amerikai cincinnati korszak megfelel körülbelül az európai ashgilli korszaknak, ha hozzáteszünk egy kicsit a caradoci korszak elejéből.

Az elnevezések könyvenként és geológusonként is változnak, ezért ne csodálkozzunk, ha az egyik szaktekintély hét újkori korszakot különböztet meg, míg a másik megelégszik néggyel is. Egyes könyvekben a harmad-, illetve negyedkor helyett paleogén, illetve neogén időszak szerepel. Mások a prekambriumot két részre osztják: az első fele volt az archaikum, a második a proterozoikum. Előfordul, hogy fanerozoikumnak nevezik a cenozoikumot, a mezozoikumot és a paleozoikumot együtt.

A fentiek csak az időegységekre vonatkoznak. A kőzeteket más, rendszernek, rétegsorrendnek és szintnek nevezett egységekbe csoportosítják. Megkülönböztetik őket idő szerint (régebbi vagy újabb) és szint szerint (hányadik kőzetrétegből valók). A kívülálló számára mindez nagyon zavaró tud lenni, a geológusnak viszont a szenvedély tárgya lehet. „Láttam már felnőtt embereket lázasan vitatkozni egy, az élet története szempontjából milliszekundumnyi eltérésen", írta Richard Fortey brit őslénykutató a XX. század egyik hosszan tartó vitájáról, ahol azt próbálták eldönteni, hol a határ a kambrium és az ordovícium között.

Ma már megbízható módszerek vannak a kőzetek korának megállapítására, a XIX. század geológusai azonban leginkább csak találgathattak. Főként az zavarta őket, hogy bár a különféle köveket és kövületeket időrendi sorrendbe tudták rakni, fogalmuk sem volt a tényleges korukról. Amikor Buckland egy Ichtiosaurus csontvázának korát akarta megbecsülni, csak annyit állíthatott, hogy az állat „tízezer és tízezerszer tízezer évvel korábbi időszakban" élt valamikor.

Bár nem álltak rendelkezésre a leletek korát megállapító módszerek, nagyon sokan próbálkoztak. A legismertebb korai kormeghatározási kísérlet 1650-ben történt, amikor James Ussher, Írország prímás-érseke a Biblia és más történeti források alapján arra a következtetésre jutott, hogy a Föld Kr. e. 4004.október 23-án délben keletkezett. Az eredményt az *Annals of the Old Testament* (Az Ótestamentum évkönyve) című műben tette közzé; a történészek és a tankönyvírók azóta is jót mulatnak rajta.[14]

Egyébként egyesek – néha komoly könyvek szerzői is – kitartanak nézetük mellett, hogy Ussher megállapítását még a XIX. században is komolyan vették, és csak Lyell hozta egyenesbe a dolgokat. Stephen Jay Gould *Az idő nyilá*ban a következő mondatot idézi példaképpen az 1980-as évek egyik népszerű könyvéből: „Lyell könyvének megjelenéséig a legtöbb tudós elfogadta, hogy a Föld fiatal." Valójában ez nem így volt. Martin J. S. Rudwick szavaival élve: „Egyetlen nemzet egyetlen geológusa, akit mások komolyan vettek, sem tarthatott helyesnek egy megállapítást, ami a Teremtés könyve szó szerinti értelmezésén alapul." Még Buckland tiszteletes, a XIX. század legjámborabb teremtése is megjegyezte, hogy a Bibliában sehol nem szerepel, hogy Isten az eget és a földet az első napon teremtette volna, csak annyi, hogy „kezdetben". És ez a kezdet akár „több millió évig is tarthatott". Mindenki egyetértett abban, hogy a Föld nagyon régi. A kérdés csak az volt, mennyire.

A bolygó korának egy jobb, szintén korai megállapítása a végtelenül megbízható Edmond Halleytől származik, aki 1715-ben felvetette, hogy ha a világ tengereiben lévő só mennyiségét elosztjuk az évenkénti sótartalom-növekedéssel, megkapjuk, hogy a tengerek hány éve léteznek, ami már közelebb

vinne minket a Föld korához. Az állítás megkapón logikus, de sajnos senki nem tudta, mennyi só van a tengerben, vagy hogy évente mennyivel lesz több, ezért a kísérlet kivitelezhetetlen volt.

Az első, tudományosnak nevezhető mérési kísérletet Georges-Louis Leclerc Buffon gróf hajtotta végre az 1770-es években. Régóta tudták, hogy a Föld észlelhető mennyiségű hőt bocsát ki – ezt bárki észrevehette, aki valaha járt már szénbányában – de nem tudták, hogyan állapítsák meg az energiaveszteség mértékét. Buffon a kísérlet során gömböket hozott fehér izzásba, majd a hűlésük során érintéssel (először valószínűleg nagyon óvatos érintéssel) megpróbálta megbecsülni a hőveszteség mértékét. Ebből végül arra következtetett, hogy a Föld kora valahol 75 000 és 168 000 év között van. Ez az érték persze sokkal kisebb, mint a valódi, de akkor is gyökeresen új gondolat, és Buffont akár ki is átkozhatták volna érte az egyházból. Gyakorlatias gondolkodású emberként ezért rögtön visszavonta eretnek kijelentését, majd írásaiban újra és újra megismételte a becslést.

A XIX. század közepére a tanult emberek úgy gondolták, a Föld legalább néhány millió éves, sőt akár több tízmillió is lehet, de annál biztosan nem öregebb. Ezért nagy meglepetést okozott, amikor 1859-ben Charles Darwin *A fajok eredeté*ben bejelentette, hogy a Wealdet (Dél-Anglia Kenten, Surreyn és Sussexen átnyúló része) létrehozó geológiai folyamat számításai szerint 306 662 400 évig tartott. Az állítás egyrészt a pontos szám miatt volt furcsa, másrészt azért, mert gyökeresen ellentmondott a Föld koráról addig elfogadott adatnak.[15] Olyan sokan vitatták, hogy a könyv harmadik kiadásából ki is hagyta. A probléma viszont megmaradt. Darwinnak és geológus barátainak nagy szüksége lett volna annak bizonyítására, hogy a Föld öreg, de ezt senki nem tette meg.

Sem Darwinnak, sem a haladásnak nem tett jót, hogy a kérdés felkeltette a nagy Lord Kelvin figyelmét (aki kétségkívül már akkor is nagy volt, de még csak William Thomson; főnemesi címet csak 1892-ben, hatvannyolc éves korában kapott, pályafutása vége felé, de ebben a könyvben úgy teszek, mint sokan mások előttem, és visszamenőleg is használom a címét). Kelvin a XIX. század – sőt, az összes század – egyik legrendkívülibb alakja volt. Hermann von Helmholtz német tudós, aki maga sem volt lassú észjárású, azt írta, hogy Kelvin messze a „legnagyobb felfogóképességről, tisztánlátásról és legrugalmasabb gondolkodásról” tett tanúbizonyságot mindenki közül, akit csak ismert. „Néha teljesen butának éreztem magam mellette”, tette még hozzá egy kicsit szomorúan.

Ez az érzés érthető, hiszen Kelvin valóban a viktoriánus kor félistene volt. 1824-ben született Belfastban. Apja, a Királyi Tudományos Intézet matematikaprofesszora volt, munkája miatt hamarosan Glasgow-ba költöztek. Itt Kelvin hamarosan olyan csodagyereknek bizonyult, hogy tízéves korában felvették a Glasgow-i Egyetemre. Húszas évei elejére már megfordult London és Párizs egyetemein, Cambridge-ben diplomát szerzett (ugyanitt egyetemi bajnoki címet is nyert evezésben és matematikában, sőt, a kettő között még időt szakított egy zenei társaság elindítására is), beválasztották a Peterhouse-ba[16] és tucatnyi káprázatosan eredeti elméleti és alkalmazott matematikai cikket írt angolul és franciául, amelyeket nem a saját nevén adatott ki, hogy ne hozza zavarba tanárait. Huszonkét éves korában visszatért a Glasgow-i Egyetemre, ahol a természetfilozófia professzora volt ötvenhárom éven át.

Hosszú élete során (1907-ben, nyolcvanhárom éves korában halt meg) 661 cikket írt, 69 szabadalmat jegyeztetett be (ezekből meg is gazdagodott), és hírnévre tett szert a természettudományok szinte minden ágában. Többek között kitalálta a fagyasztás módszerét, bevezette a nevét viselő abszolút hőmérsékleti skálát, olyan eszközt talált fel, amellyel táviratot lehetett küldeni az óceán másik partjára és számtalan, az áruszállítást és hajózást megkönnyítő újítása volt a népszerű hajókompasz feltalálásától az első echolot (visszhangos mélységmérő) megalkotásáig. És eddig csak a gyakorlati eredmé-

nyekről beszéltünk.

Elméleti munkássága az elektromágnesség, a termodinamika és a fény hullámelmélete terén hasonlóan forradalmi volt.[17] Tulajdonképpen csak egy hiba róható fel neki: nem tudta kiszámítani a Föld valódi korát. A kérdés pályájának majdnem a teljes második felén keresztül foglalkoztatta, de még csak közel sem jutott a helyes eredményhez. Első próbálkozása 1862-ben egy cikkben jelent meg a *Macmillan's* című népszerű magazinban. Itt azt állította, hogy a Föld 98 millió éves, de óvatosságból megjegyezte, hogy az érték 20 millió és 400 között más is lehet. Figyelemre méltó körültekintéssel elismerte, hogy számításai hibásak lehetnek, ha „a számunkra ma még ismeretlen erők játszottak közre a teremtés bonyolult folyamatában", de valószínűleg nem gondolta, hogy ekkorát téved.

Ahogyan múlt az idő, Kelvin egyre biztosabb lett becslése helyességében – és egyre jobban tévedett az értékben. A felső határt egyre lejjebb tette, 400 millió évről először 100 millióra, utána 50 millióra, majd végül, 1897-ben, 24 millióra. Kelvin nem önfejűsége miatt tévedett; akkor még egyszerűen nem volt meg a fizikai magyarázata, hogy hogyan tud egy Nap méretű test több mint néhány tízmillió éven át folyamatosan égni anélkül, hogy a fűtőanyag elfogyna. Ebből pedig az következett, hogy a Nap és bolygói szükségszerűen viszonylag fiatalok.

A baj csak az volt, hogy szinte minden őskövület másról tanúskodott, márpedig a XIX. században hirtelen rengeteg őskövület bukkant fel.

6.
TUDOMÁNY FOGGAL-KÖRÖMMEL

1787-ben egy New Jersey-i ember – hogy pontosan ki, arra már senki nem emlékszik – egy hatalmas combcsontot talált, ami egy folyómederből állt ki egy Woodbury Creek nevű helyen. A csont nyilvánvalóan nem egy ma élő állatfajé volt. Mai tudásunk szerint egy Hadrosaurus-ból, vagyis kacsacsőrű dinoszauruszból származhatott. Akkoriban azonban még nem tudtak a dinoszauruszokról.

A csontot elküldték dr. Caspar Wistarnak, az ország legjobb anatómusának, aki beszámolt róla a Philadelphiai Amerikai Filozófiai Társaság őszi ülésén. Sajnos Wistar nem teljesen ismerte fel a csont jelentőségét, és csak néhány óvatos és semmitmondó megjegyzése volt arról, hogy óriási felfedezésről van szó. Ezzel elmulasztotta a lehetőséget, hogy mások előtt egy fél évszázaddal felfedezzen egy dinoszauruszt. A csont annyira nem keltett feltűnést, hogy hamarosan egy raktárba került, majd teljesen el is tűnt. Így az első megtalált dinoszauruszcsont lett az első elveszített dinoszauruszcsont is.

Az, hogy a csont jelentőségét nem ismerték fel jobban, azért is különös, mert olyankor találták, amikor Amerika éppen lázban égett a nagy őslények maradványai miatt. Ennek az oka Buffon gróf, a nagy francia természettudós furcsa elmélete volt – emlékszünk rá, az előző fejezetben ő izzított gömböket –, amely szerint az Újvilág élőlényei majdnem minden tekintetben kisebbek az óvilágéinál. *Historie Naturelle* című művében Buffon azt írta, hogy Amerikában a víz posványos, a talaj terméketlen, az állatok pedig kicsik és erőtlenek, hiszen szervezetüket gyengítik a rothadó mocsarak és a napfényt soha nem látott erdők „egészségtelen kipárolgásai”. Ilyen környezetben még az őslakosok, az indiánok sem férfiasak. „Nincsen szakálluk, és a testük sem szőrös”, árulta el a bölcs Buffon, „és nem érdeklődnek a nők iránt”. Nemi szerveik „kicsik és gyengék”.

Buffon nézeteit meglepő lelkesedéssel osztották más írók is, főként olyanok, akik véleményét nem bonyolította az ország ismerete. Egy Corneille de Pauw nevű holland *Recherches Philosophiques sur les Américains* (Az amerikaiak filozófiai kutatása) című művében odáig jutott, hogy az amerikai őslakosok nem csak férfiként jelentéktelenek, de „annyira férfiatlanok, hogy a mellükben tej van”. Az ilyen nézetek valószínűtlenül sokáig, egészen a XIX. század végéig újra és újra felbukkantak az európai szerzők műveiben.

Nem meglepő, hogy a rágalmak kiváltották az amerikaiak haragját. Thomas Jefferson *Notes on the State of Virginia* (Megjegyzések Virginia államról) című munkájában található egy dühös (és szövegkörnyezetéből kiragadva egészen elképesztő) cáfolat, amelynek hatására barátja, a New Hampshire-i John Sullivan tábornok húsz katonát küldött az északi erdőkbe egy jávorszarvasbikáért, hogy elküldhesse Buffonnak, bizonyítandó az amerikai négylábúak nagyságát és méltóságát. Sajnos a kilőtt szarvas nem viselt olyan lenyűgöző agancsot, ami Jefferson céljának megfelelt volna, ezért Sullivan ötletesen mellékelt az állathoz egy jávorantilop- vagy szarvastrófeát, és azt javasolta, ezeket illesszék a jávorszarvasbika fejére. Végül is csak franciákról van szó, ki venné észre?

Közben Philadelphiában – Wistar városában – a természettudósok elkezdték összegyűjteni egy nagy, elefántszerű teremtmény csontjait. A lényt először „a nagy amerikai megismerhetetlen”-nek nevezték, később viszont (tévesen) úgy gondolták, mamut. Az első csontot a Kentucky állambeli Big Bone Lickben fedezték fel, de hamarosan többet is találtak, máshol is. Úgy látszott tehát, hogy Amerika valamikor egy valóban tekintélyes lény hazája volt – egy olyan lényé, amivel meg lehetne cáfolni

Buffon ostoba gall állításait.

Úgy tűnik, az amerikai természettudósokat kicsit elragadta a hév, amikor a „megismerhetetlen” nagyságát és vadságát akarták bizonyítani. Méretét hatszorosan túlbecsülték, és félelmetes karmokat tulajdonítottak neki, amelyek, mint később kiderült, a közelben talált Megalonyx-től, más néven óriás földi lajhártól származtak. Említésre méltó, hogy valahogyan meggyőzték magukat, hogy az állat „olyan gyors és kegyetlen volt, mint a tigris”, és úgy ábrázolták, amint éppen macskaszerű kecsességgel az áldozatára ugrik különféle sziklákról. Amikor még agyarakat is találtak, ezeket különféle találékony módon próbálták elhelyezni az állat fején. Az egyik restaurátor az agyarakat fejjel lefelé erősítette az állkapocsba, ahogyan a kardfogú tigris szemfoga áll – ettől az állat arckifejezése megfelelően támadó lett. Egy másik az agyarakat úgy rakta a koponyára, hogy azok visszafelé görbültek, mert az volt a lebilincselő elmélete, hogy a teremtmény vízi állat volt, és alvás közben agyaraival fák törzséhez rögzítette magát. A leghelyénvalóbb megállapításuk az volt, hogy a „megismerhetetlen” már kihalt – ez persze tetszett Buffon-nak is, mert általa bizonyítva látta, hogy milyen tagadhatatlanul degenerált állat lehetett.

Buffon 1788-ban meghalt, de a vita folytatódott. 1795-ben a csontok egy része Párizsba került, ahol megvizsgálta a fiatal és arisztokratikus Georges Cuvier, az őslénytan akkori legígéretesebb művelője. Cuvier azzal bűvölte el a kívülállókat, hogy szinte bármilyen, apró töredékekből álló csonthalomból tetszetős csontvázat épített. Azt mondták róla, hogy egy fogból vagy állkapocstöredékből meg tudta állapítani, hogy az adott állat hogy nézett ki és milyen életmódot folytatott, de gyakran megmondta a faját és a nemét is. Mivel tudta, hogy Amerikában senki nem írta le pontosan az esetlen állatot, Cuvier megtette, és ezzel ő lett annak hivatalos felfedezője. Masztodonnak nevezte el (ami egy kicsit meglepő módon azt jelenti: „csecsfogú”).

A vita hatására 1796-ban Cuvier egy korszakalkotó cikket írt *Note on the Species of Living and Fossil Elephants* (Megjegyzés az élő és fosszilis elefántok fajairól) címmel, amelyben elsőként fejti ki a kihalás elméletét. Úgy gondolta, hogy a Földön időről időre globális katasztrófák történnek, amelyek során teremtmények csoportjai pusztulnak el. Egy vallásos ember számára – és Cuvier is az volt – a gondolatnak kellemetlen következményei voltak, hiszen ez a gondviselés érthetetlen gondatlanságáról tanúskodna. Miért is teremtene Isten fajokat, ha később eltörli őket a Föld színéről? A gondolat ellenkezett a létezés nagy láncolatába vetett hittel, amely szerint a világ gondosan el van rendezve, minden élőlénynek megvan benne a helye és célja, és ez mindig is így volt és így lesz. Jefferson például nem viselte volna el, hogy egy egész faj eltűnhet (vagy hogy új faj jöhet létre a törzsfejlődés során). Ezért amikor tanácsadói azt javasolták, hogy küldjenek egy felfedezőcsapatot Amerika belsejébe, a Mississippin túlra, meglátta az ötlet tudományos és politikai jelentőségét, mert azt remélte, hogy a rettenthetetlen kutatók egész csordákat fognak találni egészséges masztodonokból és más hatalmas teremtményekből, akik a gazdag mezőkön legelnek. Meriwether Lewis, Jefferson személyi titkára és bizalmas barátja lett az expedíció egyik vezetője, William Clark pedig a fő természettudósa. Főtanácsadója pedig az élő és holt állatok tekintetében nem volt más, mint Caspar Wistar.

Ugyanabban az évben, sőt ugyanabban a hónapban, amikor az arisztokratikus és ünnepelt Cuvier kihalási elméletét közzétették Párizsban, a Csatorna másik oldalán egy bús képű angol felismerte az őskövületek értékét, és ez a későbbiekben szintén nagy hatással lesz a fejlődés irányára. William Smith a somerseti szénszállító csatorna építését felügyelte. 1796. január 5-én este egy somerseti postaállomás fogadójában ülve írta le elméletét, amelynek későbbi hírnevét köszönheti. A kövek leírásához szükség van egy összehasonlítási alapra, amelynek alapján meg lehet állapítani, hogy például egy de-

vonkori széntartalmú kőzet fiatalabb egy walesi kambrium kori kőzetnél. Smith felismerte, hogy a választ az őskövületek adják. A kőzetrétegek minden változásakor eltűnnek egyes fajok fosszíliái, míg mások fennmaradnak. Ha feljegyezzük, hogy az egyes fajok melyik kőzetrétegben fordulnak elő, ki tudjuk számítani az egyes kőzetek korát egymáshoz képest, ha különböző helyről származnak is. Építésvezetői tapasztalatai felhasználásával Smith azonnal elkezdte feltérképezni Anglia kőzetrétegeit. Ez nagy munka volt, de 1815-re sikerült megjelentetnie, és ez lett a modern geológia sarokköve. (Minden részletre kiterjedő történetét Simon Winchester meséli el *The Map That Changed the World* – A térkép, ami megváltoztatta a világot – című népszerű könyvében.)

Sajnos, és egy kicsit nehezen érthető, hogy William Smith ezután nem ment tovább, és nem foglalkozott azzal, hogy a kőzetrétegek miért éppen ebben a sorrendben foglalnak helyet. Ezt írta: „Nem találgattam többé a kőzetrétegek eredetét, megelégszem azzal, hogy így van. Hogy miért, az nem tartozik egy bányafelügyelő hatáskörébe.”

Smith kőzetréteg-elmélete tovább fokozta a fajok kihalásával kapcsolatos zavart. Először is az látszott bebizonyosodni, hogy Istennek a fajok elpusztítása nemcsak egyszeri vagy kétszeri, mintegy véletlen cselekedete, hanem egyenesen szokása. És ez olyan színben tünteti fel Őt, mint aki nem egyszerűen gondatlan, hanem kifejezetten rosszakaratú. Kényelmetlen kényszerré vált annak megmagyarázása is, hogy egyes fajok miért halnak ki, amíg mások akadálytalanul élhetnek a következő korokban. Biztosnak látszott, hogy a fajok kihalásához több kellett az egyetlen ismert bibliai nagy katasztrófánál, a Noé-féle özönvíznél. Cuvier saját magának úgy magyarázta a dolgot, hogy a Teremtés könyve csak a legújabban történt özönvizet írja le. Mintha Isten nem akarta volna Mózes figyelmét elvonni, vagy megijeszteni a prófétát a korábbi, oda nem tartozó faj kihalásokkal.

Így a XIX. század elejére az őskövületek kikerülhetetlen fontosságúak lettek, ezért is olyan sajnálatos, hogy Wistar nem látta meg a dinoszauruszcsont jelentőségét. Akárhogyan is, hirtelen mindenütt csontok bukkantak elő. Az amerikaiaknak számos új lehetőségük lett volna, hogy ők legyenek az elsők, akik dinoszauruszt találtak, de ezeket mind elmulasztották. 1806-ban a Lewis és Clark vezette expedíció átkelt a Montana állambeli Hell Creek képződményen, egy olyan helyen, ahol később az ősmaradványkutatók szó szerint hasra estek a dinoszauruszcsontokban. A kutatók még meg is vizsgáltak egy kőbe ágyazódott dinoszauruszcsontot, de nem jöttek rá, mi az. A New England állambeli Connecticut folyó völgyében több csontot és megkövült lábnyomot is találtak, miután egy tanyasi fiú, Plinus Moody egy régi csapásra lelt South Hadleyben egy sziklapárkányon. Ezek közül néhány legalább fennmaradt – egészen pontosan egy Anchisaurus csontjai, amelyek jelenleg a Yale Egyetem Peabody Múzeumában láthatók. A lelet 1818-ból való, és ezek az első megvizsgált és tudományos célból elraktározott dinoszauruszcsontok, amelyekről azonban egészen 1855-ig nem tudták, hogy milyen lénytől származhattak. Caspar Wistar 1818-ban halt meg, de bizonyos tekintetben halhatatlan lett, amikor Thomas Nuttall botanikus egy gyönyörűséges kúszócserjét nevezett el róla. Egyes botanikai nyelvvédők még mindig használják rá a wisteria elnevezést.[18]

Ekkorra az őslénytani hullám elérte Angliát. 1812-ben a dorseti parton lévő Lyme Regisnél egy különleges, tizenkét év körüli gyermek, Mary Anning furcsa, megkövült, több mint öt méter hosszú tengeri szörnyet talált a Csatorna meredek, veszélyes szikláiba ágyazva. A lényt ma Ichthyosaurusnak, vagy magyarul néha halgyíknak nevezik.

A lány számára az esemény egy rendkívüli életút kezdetét jelentette. A következő harmincöt évet

őskövületek gyűjtésével töltötte, és ezek eladásából élt. (Állítólag róla szól az ismert angol nyelvtörő: „She sells seashells on the seashore”, azaz „kagylót árul a tengerparton”.) Ő találta meg az első Plesiosaurust (magyar neve: hattyúnyakú ősgyík), egy másik tengeri szörnyet, és az egyik első és legjobb állapotban fennmaradt Pterodactylt (szárnyas gyíkot). Bár ezek közül a szó szoros értelmében egyik sem dinoszaurusz, ez akkoriban nem sokat számított, mivel senki nem tudta, hogy mi az a dinoszaurusz. Elég volt maga a tudat, hogy a világban egyszer régen olyan teremtmények éltek, amelyek gyökeresen különböznek a maiaktól.

Anningnek nemcsak az őskövületek megtalálásához volt jó érzéke – bár ebben valóban nem akadt párja –, de ő tudta azokat a legfinomabban, károsodás nélkül kiemelni. Ha az olvasónak egyszer lehetősége lesz meglátogatni a Londoni Természetrajzi Múzeumot, javaslom, hogy ne hagyja ki, mert itt érthető meg a legjobban, hogy mekkora és milyen gyönyörű munkát végzett ez a fiatal nő, aki gyakorlatilag segítség nélkül, a legegyszerűbb szerszámokkal, majdnem lehetetlen körülmények között dolgozott. Tíz év türelmes munkájába került csak a Plesiosaurus kiásása. Bár Anning nem részesült semmiféle tudományos képzésben, leleteiről olyan rajzokat és leírásokat készített, amelyeket a tudósok is jól használhattak. De még az ő képességei mellett is ritkán kerültek elő fontos leletek, és élete legnagyobb részét szegénységben töltötte.

Az őslénytan történetének valószínűleg Mary Anning a legkevesebb hírnevet szerzett alakja, de van még valaki, aki soha nem kapta meg az őt megillető helyet. A sussexi Gideon Algernon Mantellről, egy vidéki orvosról van szó.

Mantell hórihorgas termete többféle hibával párosult: hiú volt, csak magával foglalkozott, tudálékos volt a modora, és nem törődött a családjával. Viszont nem volt nála rendíthetetlenebb amatőr őslénykutató. Szerencséjére odaadó és figyelmes feleséget talált magának. 1822-ben, amíg egy távolabbi betegnél járt, Mrs. Mantell sétára indult egy közeli úton, és egy kátyúban, amit mindenféle törmelékkel töltöttek ki, furcsa tárgyat talált: egy görbe, barna, körülbelül diónyi követ. Mivel tudta, hogy férjét érdeklik az őskövületek, és úgy gondolta, ez is valami ilyesmi lehet, hazavitte a tárgyat. Mantell azonnal felismerte, hogy az egy megkövült fog, és egy kis tanulmányozás után biztosan tudta, hogy az állat, amelyből származik, egy hatalmas – több tíz láb, vagyis többször három méter hosszú –, növényevő hüllőből, a kréta korból származik. Feltételezései mind igazak voltak, de elég merész következtetések voltak, tekintve, hogy még soha senki nem látott vagy képzelt el ilyen lényt.

Mivel Mantell tisztában volt vele, hogy a lelet teljesen meg fogja változtatni a múltról kialakított képet, és barátja, William Buckland tiszteletes (emlékszünk rá, ő volt a taláros ember, aki szeretett minden állatot megkóstolni) is óvatosságra intette, három éven keresztül lelkiismeretesen kereste feltevései bizonyítékát. A fogat elküldte Cuvier-nek Párizsba, de a nagy francia szerint egyszerűen egy vízilótól származott. (Cuvier később úriemberként elnézést kért a rá valóban nem jellemző hibáért.) Mantell egyik nap, amikor éppen a londoni Hunterian Múzeumban kutatott, szóba elegyedett egy másik kutatóval, aki elmondta, hogy a fog nagyon hasonlít az általa tanulmányozott állatok, a dél-amerikai iguana gyíkok fogához. Gyorsan összehasonlították a kettőt, és valóban így volt. Így lett Mantell lénye az Iguanodon, a sütkérező trópusi gyík után, amivel egyébként semmilyen kapcsolatban nem állt.

Mantell írt egy cikket a Királyi Társaság számára. Sajnos addigra kiderült, hogy egy oxfordshire-i kőbányában is találtak már egy dinoszauruszt, és tudományos leírása is elkészült már – mégpedig Buckland tiszteletes keze nyomán; az az ember előzte tehát meg Mantellt, akinek a tanácsára a kelleténél lassabban, óvatosabban végezte a munkát. Buckland egy Megalosaurust talált. A nevet valójában barátja, dr. James Parkinson javasolta, a leendő radikális és a Parkinson-kór névadója. Buckland, ta-

lán emlékszik az olvasó, kiváló geológus volt, és ez meglátszik a Megalosaurusszal kapcsolatos munkáján is. A Geológiai Társaság *Transactions of the Geological Society of London* című lapjának küldött jelentésében megjegyzi, hogy a lény fogai nem az állkapocsból erednek, mint a gyíkoknak, hanem a krokodilokéhoz hasonló üregekből. Buckland ezt mind észrevette, és mégsem jött rá, hogy mit jelenthet: egy teljesen új fajt. Így, bár jelentése nem sok éleselméjűségről tanúskodott, és a nagy felismerés is hiányzott belőle, mégiscsak ez volt az első megjelent dinoszaurusz-leírás. Ezért a őslények felfedezésének dicsőségét neki, és nem az azt sokkal jobban megérdemlő Mantellnek tulajdonítják.

Mantell nem tudhatta, hogy a csalódás életének állandó kísérője lesz, és tovább kutatott őskövületek után. 1833-ban egy másik óriást talált, a Hylaeosaurust, és annyi más őskövületet vásárolt bányászoktól és földművesektől, hogy valószínűleg az övé volt a legnagyobb ilyen gyűjtemény egész Angliában. Mantell kiváló orvos volt és tehetséges csontgyűjtő, de a két tevékenységre nem tudott elég időt fordítani. Minél nagyobb lett a gyűjtőszenvedélye, annál jobban elhanyagolta a betegeit. Gyűjteménye hamarosan elfoglalta majdnem az egész brightoni házát, és felemésztette a jövedelme nagyobbik felét. A maradék nagy részéből könyveket jelentetett meg, amiket csak kevesen vásároltak. Az 1827-ben kiadott *Illustrations of the Geology of Sussex* (Sussex geológiájának ábrái) című könyvből csak ötven példány fogyott el, és így 300 font veszteséget jelentett Mantellnek – azokban az időkben pedig ez kellemetlenül nagy összegnek számított.

A végső kétségbeesés határán Mantell elhatározta, hogy házát múzeummá alakíttatja, és belépődíjat kér. Az utolsó pillanatban rájött, hogy egy ilyen kalmárszellemben fogant cselekedet nagyban csökkentené nemesi, sőt tudósi tekintélyét, ezért a látogatókat ingyen engedte be a házába. Hetente több száz látogató jött, és ellehetetlenítették mind az orvosi munkáját, mind a családi életét. Végül gyűjteményének legnagyobb részét el kellett adnia, hogy ki tudja fizetni adósságait. Felesége nem sokkal ezután elhagyta, és magával vitte négy gyermeküket is. Szinte nem is hinnénk, hogy a nagy bajok csak ezután jöttek.

A londoni Sydenham kerület Kristálypalota parkjában furcsa és rég elfeledett nevezetesség várja az odatévedőt: a világ első életnagyságú dinoszaurusz-modellje. Manapság nem sokan járnak arra, de régebben a park London egyik legnépszerűbb látványossága volt; Richard Fortey szavaival: a világ első „tematikus park”-ja[19]. A modelleken sok tévedés van. Az Iguanodon hüvelykujja az orrára került, mintha orrszarv lenne, és négy izmos lábon áll, mint egy kövérkés, túlméretezett kutya. (Valójában az Iguanodon két lábon járt.) Ha a modellekre nézünk, nem gondolnánk, hogy ezek a különös, esetlen állatok sok gyűlölet és keserűség forrásai voltak, pedig sajnos így történt. A természetrajz történetében talán nem is volt semmi más, ami ilyen erős és tartós gyűlölet célpontja lett volna, mint a ma dinoszauruszként ismert őslények.

A dinoszauruszok felállításakor Sydenham London szélén helyezkedett el, és terjedelmes parkja ideális helynek tűnt a híres Kristálypalota újrafelépítéséhez. Az öntöttvas szerkezetű, kívülről csupa üveg Kristálypalota eredetileg az 1851-es világkiállítás központi épülete volt. A dinoszauruszok betonból készültek, és a park másik látványosságának szánták őket. 1853 szilveszter estéjén huszonegy kiemelkedő tudós vacsorázott a még befejezetlen Iguanodon belsejében. Gideon Mantell, az Iguanodon megtalálója és azonosítója nem volt közöttük. Az asztalfőn az akkor még fiatal tudomány, az őslénytan legnagyobb csillaga foglalt helyet. Neve Richard Owen volt, és pályafutásának jelentős részét Gideon Mantell életének pokollá tételére fordította.

Owen az észak-angliai Lancasterben nőtt fel, és orvosi diplomát szerzett. Tehetséges anatómus volt, és ezt a tudományt olyan lelkesedéssel művelte, hogy néha törvénybe ütköző módon végtagokat, szerveket és más testrészeket kölcsönzött tetemekről, hogy otthon kényelmesen felboncolhassa azokat. Egyszer éppen hazafelé tartott egy zsákkal, amelyben egy afrikai néger matróz feje volt, amit nemrég választott le a testéről. Megcsúszott a nedves macskakövön, és rémülten látta, hogy a fej kigurul a zsákból, át az utcán, be egy ház nyitott ajtaján, és ott szépen megáll az elülső szalonban. Nem tudjuk, hogy a házbéliek mit szóltak, amikor békés üldögélés közben egyszer csak egy fej gurult a lábuk elé. Valószínűleg nem volt idejük semmi okos következtetés levonására, mert egy pillanattal később egy marcona kinézetű fiatalember toppant be az ajtón, szó nélkül felkapta a fejet, és rögtön kirohant.

1825-ben, mindössze huszonegy éves korában, Owen Londonba költözött, és hamarosan tagja lett a Sebészek Királyi Társaságának; ő rendszerezte orvosi és anatómiai mintáik kiterjedt, de teljesen rendezetlen gyűjteményeit. Ezek legnagyobb részét John Hunter hagyta az intézményre. Hunter kiváló sebész és az orvosi ritkaságok lelkes gyűjtője volt, és hagyatéka azért nem került katalógusba vagy rendezésre, mert halála után az egyes darabokat leíró papírok elvesztek.

Owen hamarosan kitűnt szervezőkészségével és következtetőtehetségével. Ugyanakkor páratlan anatómus is volt, majdnem olyan jó helyreállítási ösztönökkel, mint a nagy Cuvier Párizsban. Akkora szaktekintély volt az állatok anatómiájában, hogy elővásárlási joga volt a Londoni Állatkertben elpusztult minden állat tetemére, és ezt ki is használta: minden állatot a házába szállítottak vizsgálatra. Egyszer a felesége arra ment haza, hogy egy frissen elhullott orrszarvútól nem tud belépni az előszobába. Hunter hamarosan az összes élő és kihalt állat fő szakértője lett a kacsacsőrű emlőstől a hangyászsünig. Ő foglalkozott mindennel, az újonnan felfedezett erszényesektől a szerencsétlen dodón keresztül a moa nevű kihalt óriásmadarakig, amelyek Új-Zélandon kóboroltak, amíg a maori bennszülöttek mind egy szálig meg nem ették őket. Owen írta le elsőként az Archaeopteryxet annak 1861-es bajorországi felfedezése után, és ő alkotta meg a dodó hivatalos sírfeliratát. Összesen mintegy hatszáz anatómiai tárgyú cikket írt, ami elképesztően nagy szám.

Owen neve végül mégis a dinoszauruszokkal kapcsolatos felfedezései miatt maradt fenn. Ő találta ki a Dinosauria kifejezést 1841-ben. A szó „szörnyű gyíkot” jelent, és tulajdonképpen nem igazán szerencsés. A dinoszauruszok, amint azt ma már tudjuk, egyáltalán nem voltak rettenetesek – egyes fajok nyúl nagyságúak voltak, és valószínűleg ugyanolyan óvatosan éltek, mint a nyulak –, és a leghatározottabban állítjuk, hogy nem voltak gyíkok; a gyíkok körülbelül harmincmillió évvel korábbról származnak. Owen jól tudta, hogy a szóban forgó lények hüllők, és használhatta volna a teljesen megfelelő görög herpeton szót, de valamiért nem tette. Egy másik, talán (a rendelkezésre álló kisszámú minta miatt) megbocsáthatóbb hibája, hogy a dinoszauruszok a hüllőknek nem egy, hanem két rendjét alkotják: vannak a hüllőmeden-céjűek (Saurischia) és a madármedencéjűek (Ornithischia).

Owen nem volt vonzó ember sem külső, sem belső tulajdonságai alapján. A róla fennmaradt fényképen egy ötven-hatvan éves, ösztövér, fenyegető tekintetű embert látunk, mintha egy viktoriánus melodráma gazfickója lépne elénk: hosszú, tartás nélküli haj, kidülledő szem – nem szívesen találkoznánk vele a sötét utcán. Rideg és ellentmondást nem tűrő modora volt, és nem voltak lelkiismereti aggályai, ha a becsvágya kielégítésére cselekedhetett. Ő volt az egyetlen ember, akit Charles Darwin gyűlölt. Még Owen saját fia is (aki nem sokkal később öngyilkos lett) apja „szánalmasan hideg szívéről” számolt be.

Mivel kétségkívül nagyon tehetséges anatómus volt, megengedhette magának a legarcátlanabb becstelenségeket is. 1857-ben T. H. Huxley természettudós a *Churchill's Medical Directory* lapozgatása

során felfigyelt rá, hogy a könyvben Owen az összehasonlító anatómia és élettan professzoraként szerepel az Állami Bányászati Főiskolán. Ez eléggé meglepte Huxleyt, hiszen az említett állást éppen ő töltötte be. Amikor utánajárt, hogy a katalógusban hogyan szerepelhet egy ilyen elemi hiba, felvilágosították, hogy az információ magától dr. Owentől származik. Egy másik természettudós, Hugh Falconer rájött, hogy Owen az ő egyik felfedezését sajátjaként tünteti fel. Mások vizsgálati minták eltulajdonításával vádolták, amit ő mindig tagadott. Owen egyszer még a királynő fogorvosával is keserű vitába bonyolódott; mindketten magukénak vallottak egy, a fogak élettanával kapcsolatos elméletet.

Nem habozott, ha lehetősége nyílt gyötörni azokat, akiket nem kedvelt. Még pályája kezdetén felhasználta Állattani Társaságbeli tagságát, hogy kiközösíttessen egy Robert Grant nevű fiatalembert, akinek az volt az egyetlen bűne, hogy szintén kiemelkedő anatómusnak ígérkezett. Grant csodálkozva fedezte fel, hogy hirtelen megtagadják tőle a kutatásaihoz szükséges vizsgálati anyagokat. Munkáját nem tudta folytatni, és érthető csüggedtséggel visszavonult a tudományos világból.

De aki a legtöbbet szenvedett Owen rosszindulatú beavatkozásaitól, az a boldogtalan, egyre inkább tragikus sorsú Gideon Mantell volt. Miután elvesztette feleségét, gyermekeit, betegeit és őskövület-gyűjteménye nagy részét, Londonba költözött. 1841-ben, abban a sorsdöntő évben, amikor Owen elérte dicsősége csúcspontját a dinoszaurusz elnevezésével és azonosításával, Mantell szörnyű balesetet szenvedett. Amikor fogatával átszelte a Clapham közlegelőt, valahogyan leesett az ülésről, a gyeplőbe gabalyodott, és a rémült lovak vágtában vonszolták végig az egyenetlen földön. A balesetbe belerokkant, gerince gyógyíthatatlanul eltört, és állandó fájdalmak gyötörték.

Owen azonnal tőkét kovácsolt Mantell egészségi állapotából. Elkezdte módszeresen kitörölni a Mantell eredményeiről szóló feljegyzéseket, átnevezni a Mantell által évekkel azelőtt már elnevezett fajokat, és az összes felfedezést saját magának tulajdonította. Mantell megpróbált továbbra is kutatásokat végezni, de Owen elérte a Királyi Társaságnál, hogy riválisa legtöbb tanulmányát elutasítsák. 1852-ben Mantell már nem tudta elviselni a fájdalmat és az üldöztetést, és önkezével vetett véget az életének. Eltorzult gerincét elküldték a Sebészek Királyi Társaságának, ahol – a sors iróniájaként – azt Richard Owen, a Hunterian Múzeum igazgatója vette gondjába.

És még ezzel sem volt vége a tragédiának. Nem sokkal Mantell halála után lebilincselőn kíméletlen nekrológ jelent meg a *Literary Gazette* lapban a középszerű anatómusról, akinek szerény őslénytani eredményeit „a pontos tudás hiánya” korlátozta. A nekrológ még azt is cáfolta, hogy ő fedezte volna fel az Iguanodont, sőt megemlítette, hogy az Cuvier és Owen érdeme. Bár a cikk aláírás nélkül jelent meg, Owen stílusa egyértelműen felismerhető, és a természettudományok világában mindenki fel is ismerte.

Ekkor azonban elérkezett az idő, amikor Owen már nem játszhatta tovább kisded játékait. Veszte akkor érte utol, amikor a Királyi Társaság egy bizottsága – amelynek egész véletlenül ő volt az elnöke – úgy döntött, hogy a legmagasabb kitüntetést, a Királyi Érdemérmet adományozza neki egy Belemnites nevű kihalt puhatestűről írt cikkéért. Deborah Cadbury így írja le az ezután történteket *Terrible Lizard* (Szörnyű gyík) című kiváló tudománytörténeti munkájában: „Azonban a cikkről kiderült, hogy nem olyan eredeti, mint amilyennek elsőre látszott.” A Belemnitest, mint kiderült, már négy éve felfedezte egy Chaning Pearce nevű amatőr természettudós, sőt előadást is tartott róla a Geológiai Társaság egy ülésén, amelyen Owen maga is részt vett, de erről valahogyan mégis elfelejtkezett, amikor saját jelentését elküldte a Királyi Társaságnak. A cikkben, nem mellékesen, a lényt szerényen Belemnites owenii-nek nevezte el. Bár Owen megtarthatta a Királyi Érdemérmet, az incidens maradandó foltot hagyott a becsületén, még kevés megmaradt támogatója szemében is.

Végül Huxley megtette Owennel azt, amit ő is megcsinált már sok mindenkivel: kiszavaztatta az Állattani és a Királyi Társaság vezetőségéből, majd saját magát választatta a Sebészek Királyi Kollégiuma új Hunterian-professzorává.

Owen ezek után már nem végzett több fontos kutatást, de pályája második felét olyan feddhetetlen foglalatossággal töltötte, amiért mindenki csak hálás lehet neki. 1856-ban ő lett a British Museum természetrajzi részlegének igazgatója, és ezzel a Londoni Természetrajzi Múzeum létrehozásának fő mozgatóereje. Az 1880-ban, a South Kensington városrészben megnyílt grandiózus gótikus épülettömeg gyűjteményének megalapítása majdnem teljesen neki köszönhető.

Owen előtt a múzeumokat elsősorban a felsőbb körök használatára és épülésére építették, de néha még nekik sem volt könnyű bejutniuk. A British Museum első éveiben a látogatóknak írásban kellett kérvényezniük a belépést, és egy rövid beszélgetésen kellett részt venniük, hogy kiderüljön, vajon méltók-e a múzeum megtekintésére. Ha ezen a vizsgán sikeresen átjutottak, vissza kellett térniük a jegyért, majd egy harmadik időpontban végre megnézhették a múzeumban őrzött kincseket – kizárólag csoportosan, és nem volt lehetőség arra sem, hogy hosszabb ideig vizsgálják az őket érdeklő tárgyakat. Owen ezzel szemben úgy tervezte, hogy mindenki bejöhet, még a munkásokat is szívesen fogadják a műszakjuk befejeztével, és a múzeum területének legnagyobb részét a nyilvános kiállítások foglalják el. Még azt a merész ötletet is felvetette, hogy tájékoztató feliratokat helyeznek el a kiállítási darabokhoz, hogy mindenki számára világos legyen, mit is lát. Ebben, kicsit váratlanul, T. H. Huxley nem értett egyet vele; úgy gondolta, a múzeumok elsősorban kutatóintézetek. Amikor Owen a Természetrajzi Múzeumot megnyitotta a közönség előtt, ezzel gyökeresen átalakította a múzeum mint intézmény fogalmát.

Owen tehát emberbarát lett, de kizárólag általános értelemben – a személyes vetélkedés élete végéig jellemző volt rá. Egyik utolsó tetteként megpróbálta kijárni, hogy ne emeljenek szobrot Charles Darwin emlékére. Nem sikerült, de egy kis győzelmet magáénak tudhatott volna, ha megéri: ma az ő szobra a Természetrajzi Múzeum egy pazar pontját foglalja el, ami jól látszik a fő csarnok lépcsőjéről, míg Darwin és Huxley csak egy eldugott helyen, a kávézóban kaptak helyet; ott figyelik higgadt pillantásukkal a teázó és lekváros fánkot majszoló látogatókat.

Ésszerű feltételezés lenne, hogy Richard Owen kicsinyes harcai a XIX. századi őslénytan mélypontját jelentették, de sajnos utána még rosszabb idők következtek. A baj most a tengerentúlról érkezett. A század vége felé Amerikában még gyilkosabb vetélkedés folyt, bár ez nem okozott annyi kárt. A harc két furcsa, irgalmat nem ismerő ember, Edward Drinker Cope és Othniel Charles Marsh között dúlt.

Sokban hasonlítottak egymásra. Mindketten elkényeztetettek, törtetők, egocentrikusak, civakodók, irigyek, bizalmatlanok és természetesen boldogtalanok voltak. Mégis ők ketten változtatták meg az őslénytan világát.

Egymást kölcsönösen tisztelő barátokként kezdték, még számos ős-kövületet is elneveztek a másik után, és egy kellemes hetet töltöttek együtt 1868-ban. Valami – senki nem tudja, mi – akkor történhetett közöttük, és ezután folyamatosan elmélyülő háborúság vette kezdetét, ami a következő harminc év során elvakult gyűlöletté fejlődött. Annyit biztosan állíthatunk, hogy soha nem volt még két természettudós, aki ennyire megvetette volna egymást.

Marsh nyolc évvel volt idősebb Cope-nál. Visszahúzódó könyvmoly-ként élt, jól ápolt szakálla és kifogástalan modora volt; terepen kevés időt töltött, és akkor sem talált sok mindent. Amikor a Wyoming állambeli Como-szirten, a híres dinoszaurusz-mezőkön járt, nem vette észre azokat a csontokat

sem, amelyek egy krónikás szerint „mindent beterítettek, mint az avar”. Viszont módjában állt szinte bármit megvásárolni, amit akart. Bár nem származott gazdag családból (apja New York állam északi részén gazdálkodott), nagybátyja George Peabody volt, a hihetetlenül gazdag és különlegesen lágyszívű bankár. Amikor Marsh érdeklődni kezdett a természetrajz iránt, Peabody egy múzeumot építtetett neki a Yale-en, és gondoskodott róla, hogy Marsh azzal töltse meg, amivel csak szeretné.

Cope viszont beleszületett a gazdagságba – apja sikeres philadelphiai üzletember volt – és Marshnál sokkal vállalkozóbb szellemű. 1876 nyarán Montanában, mialatt George Armstrong Custer és emberei a Little Big Horn folyó völgyében éppen hatalmas veszteséget szenvedtek a sziú indiánoktól, Cope éppen csontokat keresgélt a csata helyszínének közelében. Amikor figyelmeztették, hogy ez nem a legalkalmasabb időpont arra, hogy kincseket vigyen el az indiánok földjéről, Cope egy percig gondolkodott, majd folytatta a kutatást, mert éppen nagyon jól haladt. Szerencséjére csak egy csapat crow (saját nyelvükön: apsaalooke) indiánnal akadt össze, akiket azonban sikerült lenyűgöznie műfogsorának kivételével és ismételt visszahelyezésével.

Marsh és Cope kölcsönös ellenszenve vagy egy évtizeden át csak csendes furkálódásban nyilvánult meg, de 1877-ben hirtelen magasra csaptak az indulatok. Az történt, hogy egy Arthur Lakes nevű coloradói tanár kirándulás közben csontokat talált Morrison közelében. Lakes feltételezte, hogy ezek egy „hatalmas gyíkból” származhatnak, ezért a dolgot jól megfontolva néhány mintát küldött mind Marshnak, mind Cope-nak. Cope nagyon örült, és száz dollárt küldött a tanárnak a fáradságáért, és egyben megkérte, ne szóljon senki másnak a felfedezésről, különösen Marshnak ne. Lakes így nehéz helyzetbe került, és megkérte Marshot, küldje el a csontokat Cope-nak. Marsh meg is tette, de ezt a nyílt sértést jól megjegyezte.

Ez volt kettőjük harcának kezdete, egy olyan háborúé, amely az évek során egyre keserűbb és alattomosabb lett, a kívülálló számára gyakran nevetséges mértékben. Néha a dolgok odáig fajultak, hogy az egyikük ásatásokat végző emberei kővel dobálták meg a másik tudós csapatát. Cope-ot egyszer látták, amint éppen feszítővassal nyitogatja Marsh ládáit. Nem szalasztottak el egyetlen lehetőséget sem, hogy nyomtatásban sértegessék egymást, és folyamatosan megvetéssel nyilatkoztak a másik eredményeiről. A tudományt ritkán – lehet, hogy soha – nem mozdította előre ilyen sebesen és sikeresen a gyűlölködés. Azokban az években a két kutatónak köszönhetően az Amerikában ismert dinoszauruszfajok száma 9-ről majdnem 150-re nőtt. Ők ketten találták meg majdnem az összes ismertebb dinoszauruszt; itt most azokra gondolunk, amelyeket egy átlagos érdeklődő is fel tud sorolni: Stegosaurus, Brontosaurus, Diplodocus, Triceraptops.[20] Sajnos olyan gyorsan és hanyagul dolgoztak, hogy gyakran nem is vették észre, hogy egy újonnan felfedezettnek vélt állatot már ismernek. Egy Uintatheres anceps nevű fajt például nem kevesebbszer mint huszonkétszer fedeztek fel ketten együtt. Követőiknek évekbe telt, amíg kibogozták a sietve besorolt fajokat és osztályokat, sőt, egyesek még ma sincsenek tisztázva.

Kettőjük közül Cope tudományos hagyatéka a jelentősebb. Lélegzetelállítóan szorgalmas és eredményes pályája során körülbelül 1400 tanulmányt publikált, és majdnem 1300 új őskövülettípust (nem csak dinoszauruszokat) írt le, mindkét területen kétszer annyit, mint Marsh. Cope biztosan még többet alkotott volna, ha idősebb korában nem hanyatlik olyan sajnálatosan gyors ütemben. 1875-ben egy egész vagyont örökölt, amit botor módon ezüstbe fektetett, és mindenét elveszítette. Utolsó éveit egy philadelphiai panzióban bérelt szobában töltötte könyvek, papírok és csontok között. Marsh ezzel szemben New Havenben halt meg saját pompás kastélyában 1899-ben, két évvel Cope után.

Cope-ot egy érdekes rögeszme foglalkoztatta utolsó éveiben. Az volt a leghőbb vágya, hogy ő le-

gyen a *Homo sapiens* mintapéldánya, azaz, hogy az ő csontváza legyen az emberi faj hivatalos mintája. Általában egy faj mintapéldánya az első megtalált csontváz lesz, de mivel ilyen nem áll rendelkezésre a *Homo sapiens* esetében, Cope saját csontjaival kívánta betölteni a hiányt. Különös, hiú kívánság volt ez, de senkinek nem jutott eszébe egyetlen értelmes ellenérv sem. Cope csontjait a Wistar Intézetre hagyta, egy philadelphiai tudományos társaságra, amelyet a láthatólag kikerülhetetlen Caspar Wistar leszármazottai alapítottak. Sajnos miután csontjait preparálták és összerakták, kiderült, hogy az a kezdeti szifilisz jeleit mutatja, és ezért aligha alkalmas saját fajunk mintapéldányának, így Cope kérését és csontjait szép csöndben elfelejtették. Az emberi fajnak mind a mai napig nincs mintapéldánya.

Drámánk szereplői közül Owen 1892-ben halt meg, néhány évvel Cope és Marsh előtt. Buckland megtébolyodott és életét makogó roncsként fejezte be egy claphami elmegyógyintézetben, nem messze attól a helytől, ahol Mantell szörnyű balesete történt. Mantell eltorzult gerincét a Hunterian Múzeumban majdnem száz éven át csodálhatták a látogatók, amíg végül a villámháború egy német bombája szerencsésen elpusztította. Mantell gyűjteményének megmaradt darabjai a gyűjtő halála után a gyermekeire szálltak, és Walter fia, aki 1840-ben kivándorolt Új-Zélandra, nagy részét magával vitte. Walter kiváló új-zélandi polgár, sőt belügyminiszter lett. 1865-ben apja gyűjteményének legértékesebb darabjait, beleértve az Iguanodon-fogat is, a wellingtoni Gyarmati Múzeumnak (ma: Új-Zélandi Múzeum) adományozta; ma is ott őrzik. Az Iguanodon-fogat, amellyel az egész kezdődött – megkockáztatom, hogy az őslénytan történetének legfontosabb fogát – ma már nem láthatjuk.

A dinoszaurusz-vadászat persze nem maradt abba a nagy XIX. századi őskövületvadászok halálával. Sőt, bizonyos értelemben igazából csak akkor kezdődött. 1898-ban, a Cope és Marsh halála közötti évben egy minden addiginál nagyobb leletet találtak – pontosabban: vettek észre – egy Bone Cabin Quarry[21] nevű helyen, alig néhány mérföldre Marsh fő vadászterületétől, a wyomingi Como-szirttől. Több száz megkövült csont állt ki a domboldalból. Olyan sok, hogy valaki egy kalyibát is felépített belőlük, innen az elnevezés. Az első két nyáron körülbelül negyvenöt tonna ősi csontot ástak ki a lelőhelyről, és még sok tízezer kilogrammnyit.

A végeredmény mindenesetre az, hogy a XX. század fordulójára az őslénykutatók szó szerint több tonna csont között válogathattak. A gond csak az volt, hogy még mindig fogalmuk sem volt arról, hogy mennyi idősek lehetnek az egyes leletek. A problémát az is súlyosbította, hogy a Föld eddig bármelyik megállapított kora rövidebb, mint ahány kor, korszak és periódus kellett az őskövületek létrehozásához. Ha a Föld tényleg csak húszmillió éves lenne, ahogyan azt a nagy Lord Kelvin állítja, akkor az őslények teljes rendjei létrejöttük geológiai pillanatában gyakorlatilag már ki is haltak volna. És ennek így nem volt semmi értelme.

Kelvinen kívül más tudósok is foglalkoztak a problémával, de az eredményeik csak tovább erősítették a bizonytalanságot. Samuel Haughton, a dublini Trinity College tekintélyes geológusa a Föld korát 2,3 milliárd évre becsülte, ami sokkal több, mint amennyit eddig bárki is mondott. Amikor erre ráébredt, újra elvégezte számításait, és ugyanazon adatok alapján 153 millió évre jutott. John Joly, trinitybeli kollégája megpróbálkozott Edmond Halleynek az óceánok sótartalmával kapcsolatos ötletével, de módszere annyi téves feltevésen alapult, hogy reménytelenül elvesztette a fonalat. Végül arra jutott, hogy a Föld 89 millió éves – ez a kor elég jól megfelelt Kelvin feltételezéseinek –, de a valóságnak sajnos nem.

Akkora volt a zűrzavar, hogy ha valaki a XIX. század végén meg akarta tudni, hogy a bonyolultabb életformák mikor jöttek létre a kambriumban, akkor attól függően, hogy melyik könyvet nyitotta ki,

megtudhatta, hogy 3 millió, 18 millió, 600 millió, 794 millió vagy 2,4 milliárd évvel ezelőtt, vagy valamikor időközben. Még 1910-ben is az volt az egyik legtöbbet hivatkozott becslés, hogy a Föld csak 55 millió éves; az adat az amerikai George Beckertől származott.

Éppen, amikor a dolgok már-már kibogozhatatlanul bonyolultaknak tűntek, egy másik különös ember egy egészen más megközelítést talált ki. Ernest Rutherford, ez a nyers modorú és ragyogó elméjű új-zélandi tanyasi fiú megcáfolhatatlan érvekkel támasztotta alá, hogy a Föld több százmillió éves, ha ugyan nem még öregebb.

Bizonyítéka furcsa módon az alkímián alapult – természetes volt, spontán, tudományosan hiteles és semmi okkult nem volt benne, de mégis az alkímia oldotta meg a problémát. Newton, mint majd látni fogjuk, nem is tévedett olyan nagyon. Hogy ez aztán hogyan derült ki később, az már egy másik történet.

7.
ELEMI DOLGOK

Sokan megegyeznek abban, hogy a kémia 1661 óta számít komoly és tiszteletre méltó tudománynak. Robert Boyle abban az évben jelentette meg *The Sceptical Chemist* (A kételkedő vegyész) című művét, amelyben elsőként tett különbséget alkimista és vegyész között, de az átmenet lassú és akadozó volt. Még a XVIII. századi tudósok is jól érezhették magukat mindkét táborban, mint a német Johann Becher, aki egy kifogástalan ásványtani művet írt *Physica Subterranea* (Az ásványok fizikája) címmel, ugyanakkor meg volt győződve arról, hogy a megfelelő anyagok segítségével láthatatlanná tudja tenni magát.

Talán semmi nem jellemzi jobban a vegyészet tudománya furcsa és gyakran véletlenszerű történetének kezdeti szakaszát, mint a német Hennig Brand 1675-ös felfedezése. Brand meggyőződése szerint valahogyan aranyat lehet lepárolni az emberi vizeletből. (Erre a következtetésre valószínűleg a szín hasonlósága vezette.) Összegyűjtött hát ötven vödör emberi vizeletet, amelyet hónapokon át a pincéjében tárolt. Különféle rejtelmes eljárásokkal a vizeletet először undorító masszává alakította, majd áttetsző, viaszos anyaggá. Arany persze nem lett belőle, mégis történt valami furcsa és érdekes dolog. Egy idő után az anyag fényleni kezdett. Sőt, mi több, ha levegő érte, gyakran meggyulladt magától.

Az előállított termékben – amelynek a neve hamarosan foszfor lett; a szó görög és latin gyökerei „fényhordozó”-t jelentenek – az ügyes üzletemberek azonnal pénzügyi lehetőségeket kerestek, de a gyártás olyan nehézkes lett volna, hogy a felfedezést nem volt érdemes kiaknázni. Egy uncia (kb. 28 g) foszfor hat fontba került volna – mondjuk, hogy ez ma megfelel százezer forintnak –, tehát drágább volt az aranynál.

Először katonákkal állíttatták elő a nyersanyagot, de ez nem volt elég az ipari mennyiség előállításához. Az 1750-es években aztán Karl (vagy Carl) Scheele svéd vegyész rájött, hogyan lehet foszfort előállítani a nem túl kellemesen kezelhető vizelet kihagyásával. Ezért van az, hogy Svédország mind a mai napig a világ vezető gyufagyártója.

Scheele különleges és egyben különlegesen balszerencsés fickó volt. Szegény patikusként kevés fejlett eszközzel rendelkezett, mégis nyolc elemet fedezett fel: a klórt, a fluort, a magnéziumot, a báriumot, a molibdént, a volfrámot, a nitrogént és az oxigént, de a kémia történetében csak a mangán, a klór és a molibdén felfedezőjeként tartják számon. Többi felfedezését vagy nem vették tudomásul, vagy valaki más, tőle függetlenül felfedezte ugyanazt, és ő írta le először az új elemet. Sok hasznos vegyületet is felfedezett, például az ammóniát, a glicerint és a csersavat, ezenkívül ő ismerte fel a klór fehérítőként való felhasználásának lehetőségét. Mindezekből rendkívüli módon meggazdagodott – néhány kortársa.

Scheele egyetlen gyengéje az volt, hogy különös módon ragaszkodott hozzá, hogy mindent megkóstoljon, amivel csak dolgozott, ideértve az olyan hírhedten kellemetlen anyagokat, mint a higany és a hidrogéncianid (kéksav, ezt is ő fedezte fel) – az utóbbi olyan mértékig mérgező, hogy 150 évvel később Edwin Schrödinger ezt választotta toxinnak egyik híres gondolatkísérletében (lásd a 140. oldalon). Scheele végül meggondolatlansága áldozata lett. 1786-ban, mindössze negyvenhárom éves korában halva találták. A munkaasztalánál ült, ami tele volt mérgező vegyszerekkel, amelyek közül bármelyik okozhatta a tudós utolsó arckifejezésének kábaságát.

Ha a világ igazságos lenne – a svéd pedig világnyelv –, Scheelét elismert felfedezőként ünnepelnénk. Így viszont az érdem az ismertebb vegyészeké lett, főleg angol anyanyelvűeké. Scheele az oxigént 1772-ben fedezte fel, de különféle siralmasan bonyolult okok miatt cikke nem jelent meg időben. Az oxigén felfedezőjeként Joseph Priestleyt tartjuk számon, aki Scheelétől függetlenül, de nála később találta meg ezt az elemet 1774 nyarán. Ennél is figyelemreméltóbb az, hogy Scheele nem lett a klór felfedezője sem, legalábbis a legtöbb tankönyv szerint, amelyek az érdemet Humphry Davynek tulajdonítják, aki ezt valóban meg is tette, csak éppen harminchat évvel Scheele után.

Bár a vegytan sokat fejlődött a Newtont és Boyle-t Scheelétől, Priest-leytől és Henry Cavendishtől elválasztó évszázadban, azért még maradt felfedeznivaló. A XVIII. század utolsó éveiig (Priestley esetében egy kicsit tovább is) sok tudós nem létező dolgokat keresett: lövés utáni gázos levegőt, flogisztonmentes/gyulladást nem okozó sósavat, /sósavoldatot, phlox-ot, fémhamut, földből és vízből álló kigőzölgést és mindenekfölött flogisztont, a dolgok meggyulladását okozó feltételezett anyagot – sőt, néha azt hitték, meg is találták. Meggyőződésük volt, hogy a dolgok mélyén rejtőznie kell egy titokzatos élan vitalnak, amely az élettelenből élőt hoz létre. Senki nem tudta, hogy hol keresse ezt a földöntúli szubsztanciát, de két dolgot valószínűnek tartottak: hogy elektromos lökéssel feléleszthető (a gondolatot Mary Shelley dolgozta ki a végletekig *Frankenstein* című regényében), és hogy egyes anyagokban benne van, másokban viszont nincsen; így jutottunk el a kémia két ágához: a szerveshez (az olyan anyagokkal foglalkozik, amelyekben benne van) és a szervetlenhez (ezekben nincsen).

Kellett egy tehetséges ember, hogy átlendítse a vegytant az újkorba. Hamarosan, 1743-ban meg is született a francia Antoine-Laurent Lavoisier. Kisnemesi családból származott (a címet apja vásárolta). 1768-ban közreműködéssel együtt járó részesedést vásárolt egy Ferme Générale (Általános cég) nevű, mélyen megvetett, a kormány számára díjakat és adókat beszedő intézményben. Bár maga Lavoisier szelíd és igazságos ember volt, a cégéről ugyanez nem mondható el. Először is, csak a szegények adóinak beszedésével foglalkoztak, és gyakran elég önkényesen jártak el. Lavoisier-t azért vonzotta az intézmény, mert itt eleget kereshetett ahhoz, hogy fő életcéljával, a tudománnyal foglalkozhasson. A legjobb évben 150 000 livre volt a személyes jövedelme – mai pénzben ez körülbelül félmilliárd forint lenne.

Három évvel azután, hogy erre a jövedelmező pályára lépett, feleségül vette egyik főnökének tizennégy éves lányát. Szerelmi házasság volt, de a lány szellemi társa is lett férjének. Madame Lavoisier olyan éles elméjű volt, hogy hamarosan férje legjobb munkatársa lett. Lavoisier a hivatali munka és a zsúfolt társadalmi élet mellett napi öt órát foglalkozott természettudományokkal – két órát reggel, hármat este, és az egész vasárnapot erre fordította; ezt a napot a jour de bonhour (a boldogság napja) kifejezéssel illették. Mindemellett Lavoisier valahogyan arra is talált időt, hogy ő legyen a puskaporügyi biztos, felügyelje egy Párizs körüli fal felépítését a csempészek ellen, részt vegyen a tízes mértékrendszer alapjainak lerakásában, és társszerzőként közreműködjön egy *Méthode de Nomenclature Chimique* (A vegytani névadás módszere) című könyvben, amely az elemek névadásának alapja lett.

A Királyi Tudományos Akadémia vezető tagjaként tudnia kellett minden időszerű témáról: a hipnózisról, a börtönreformról, a rovarok légzéséről, Párizs vízellátásáról. Így történt, hogy 1780-ban Lavoisier helyteleníto megjegyzéseket tett egy új égési elméletről, amelyet egy reményteljes fiatal tudós nyújtott be az akadémiának. Az elmélet tényleg hibás volt, de a tudós, Jean-Paul Marat soha nem bocsátott meg Lavoisier-nek.

Lavoisier egyetlen dolgot nem fedezett fel: elemet. Egy olyan korban, amikor úgy tűnt, mintha mindenki, aki hozzá tud jutni egy csőrös pohárhoz, lánghoz és valamilyen érdekes porhoz, valami újat fe-

dezhet fel – és amikor, nem mellékesen, az elemek mintegy kétharmada még felfedezésre várt –, Lavoisier egyet sem talált. Biztos, hogy nem a csőrös poharakon múlt. Lavoisier-nek ugyanis tizenháromezer darab állt rendelkezésére a létező legjobb, szinte már nevetségesen jól felszerelt magánlaboratóriumban.

Ő inkább mások felfedezéseit fejlesztette tovább. A flogiszton és a káros kipárolgások létezését elvetette. Helyesen azonosította az oxigént és a hidrogént, és ő adta nekik ma is használatos nevüket. Röviden: ő vezette be a vegytanba a pontosságot, a tisztaságot és a módszerességet.

Csillogó-villogó berendezéseire pedig valóban szükség volt. Ő és a felesége hosszú éveken keresztül rendkívül akkurátus kutatásokat végeztek, amelyekhez a lehető legpontosabb méréseket kellett végezniük. Megállapították például, hogy a rozsdásodó tárgyak tömege nem csökken, ahogyan azt mindenki gondolta, hanem nő. A rozsdásodó test valahogyan elemi részecskéket vont magához a levegőből. Ez volt az első eset, hogy valaki felismerte, hogy az anyagok átalakulhatnak, de nem lehet őket eltüntetni. Ha az olvasó elégetné ezt a könyvet, anyaga hamuvá és füstté válna, de a világegyetem nettó anyagmennyisége nem változna. Ez az anyagmegmaradás elve, ami akkor forradalmi gondolatnak számított. Sajnos egy másik – a francia – forradalom közbeszólt, és Lavoisier egyszer csak a rossz oldalon találta magát.

Nemcsak a megvetett Ferme Générale tagja volt, hanem lelkes építője is a Párizst körbevevő falnak – ezt az építményt annyira gyűlölték, hogy a lázadók ezt támadták meg elsőként. Marat ennek alapján 1791-ben bevádolta Lavoisier-t, és célzott rá, hogy fel kellene akasztani. A Ferme Générale-t nem sokkal később bezárták. Marat-t viszont fürdés közben meggyilkolta egy Charlotte Corday nevű elszánt fiatal nő, de sajnos Lavoisier-n ez már nem segített.

1793-ban a rémuralom a tetőfokára hágott. Októberben Marie Antoinette-et is nyaktiló alá küldték. A következő hónapban, amikor Lavoisier és felesége elkésve tervezni kezdték, hogyan szökjenek Skóciába, a tudóst letartóztatták. Májusban őt és harmincegy főadóbérlő társát a forradalmi bíróság elé állították (a tárgyalóterem díszhelyén Marat mellszobra állt). Nyolcukat felmentették, de Lavoisier-t és a többieket egyenesen a Forradalom térre (ma Concorde tér) vitték, ahol a legtöbb kivégzőhely működött. Lavoisier-nek végig kellett néznie apósa lefejezését, majd sorsába beletörődve ő is fellépett az emelvényre. Ezután kevesebb mint három hónappal, július 27-én Robespierre-t ugyanígy és ugyanitt végezték ki, és a rémuralomnak hamarosan vége szakadt.

Lavoisier halála után száz évvel szobrot emeltek neki Párizsban, ami sokáig állt ott, amíg egyszer csak valaki észre nem vette, hogy a szobor egyáltalán nem hasonlít az elhunyt tudóshoz. Amikor a szobrászt felelősségre vonták, beismerte, hogy Condorcet márkijának, egy matematikusnak és filozófusnak a fejét használta fel az alkotásnál (hogy honnan volt neki egy tartalékban?), mert remélte, senki nem fogja észrevenni a különbséget, vagy ha igen, nem törődik majd vele. Második feltételezése igaznak bizonyult; Lavoisier és Condorcet közös szobra még egy fél évszázadon át a helyén maradt, amíg végül a második világháború során egy reggel eltávolították, hogy beolvasszák.

A XIX. század elején Angliában furcsa divat terjedt el: a dinitrogén-oxid (más néven kéjgáz vagy nevetőgáz) használata, amikor felfedezték, hogy használata „igen örömteli módon borzongató”. A következő fél évszázadban ez volt az ifjúság kedvenc kábítószere. Egy tudós társaság, az Askesian Társaság egy darabig mással nem is foglalkozott. A színházakban „nevetőgázesteket” tartottak, amikor az önként vállalkozók egy nagy belégzéssel frissíthették fel magukat, majd a közönség jókat kacaghatott

rajtuk, amint a színpadon botladoznak.

Egészen 1846-ig senki nem jött rá, hogy a dinitrogén-oxid valójában kiváló érzéstelenítőszer. Ki tudja, hány tízezer ember szenvedett szükségtelen kínokat a műtétek során csak azért, mert senkinek nem jutott eszébe, hogy a gáz erre a nyilvánvaló dologra használható.

A fentieket csak azért említettem, hogy megmutassam, hogy a vegytan a XVIII. századi rohamos fejlődése után elvesztette a lendületét, ugyanúgy, mint a geológia a következő század első évtizedeiben. Ennek egyik oka a felszerelés korlátozottsága volt – például a XIX. század közepéig nem volt centrifuga, ami lehetetlenné tette a kísérletek egy jelentős részét –, másik oka pedig társadalmi. A vegytan általában a mesteremberek tudománya volt, azoké, akik szénnel, kálium-karbonáttal és festékekkel dolgoztak, és nem a nemesembereké, akiket inkább a geológia, a természetrajz vagy a fizika vonzott. (Ez Európában leginkább Angliára volt igaz, de a vegytannak a Csatornán túl sem volt túl nagy becsülete.) Jellemző, hogy az évszázad egyik legfontosabb felismerését, a Brown-mozgás felfedezését, amely a molekulák aktív természetének az alapja, nem is vegyésznek, hanem Robert Brown skót botanikusnak köszönhetjük. (1827-ben vette észre, hogy a vízben lebegő apró pollenszemek akármeddig mozgásban maradnak, bármennyi ideig hagyja a folyadékot ülepedni. Hogy ezt az állandó mozgást – a molekulák láthatatlan kölcsönhatásait – mi okozza, hosszú ideig megfejtetlen kérdés volt.)

A dolgok rosszabbul is alakulhattak volna, ha egy elképesztően valószínűtlen figura, Rumford grófja, 1753-ban a Massachusetts állambeli Woburnben nem látja meg a napvilágot (előkelő címe ellenére Benjamin Thompsonként). Thompson rámenős volt és becsvágyó, „csinos arcú és termetű”, néha bátor és rendkívül okos, de soha nem zavartatta magát semmi olyasmitől, ami a lelkiismeret kategóriájába tartozik. Tizenkilenc éves korában elvett egy gazdag, nála tizennégy évvel idősebb özvegyasszonyt, de amikor a gyarmatokon lázongás tört ki, szerencsétlenségére a fennálló rendszer híve maradt, sőt, kémkedett is neki. Az 1776-os végzetes évben, amikor le akarták tartóztatni „a szabadsággal kapcsolatos langyos magatartása miatt”, elhagyta feleségét és gyermekét, és éppen időben menekült meg a királyellenes csőcselék elől, akik több vödörnyi forró kátránnyal és néhány zsáknyi tollal szerették volna megkínálni.

Először Angliába, onnan pedig Bajorországba menekült, ahol katonai tanácsadóként dolgozott a kormánynak. Annyira meg voltak vele elégedve, hogy 1791-ben kinevezték a Német-római Birodalom Rumford grófjává. Münchenben ő tervezte az Angolkertként ismert híres parkot.

Időközben valahogyan arra is talált időt, hogy tudománnyal foglalkozzon. A maga korában a világ legnagyobb szaktekintélye volt termodinamikai kérdésekben, és ő magyarázta meg elsőként a folyadékok áramlásának elvét és az óceáni áramlatok keringését. Sok hasznos tárgyat is feltalált, például a csepegtetős kávéfőzőt, a meleg alsóneműt és egy kályhát, amit még ma is Rumford-kandallónak neveznek. 1805-ben Franciaországba költözött, és megkérte Antoine-Laurent Lavoisier özvegyének kezét, aki igent mondott. Boldogtalan házasság volt, és hamarosan különváltak. Rumford Párizsban maradt, és ott is halt meg 1814-ben, általános megbecsülés közepette, amelyet csak volt feleségei nem osztottak.

Mi most itt azért említettük meg a nevét, mert 1799-ben, amikor egy rövid ideig Londonban tartózkodott, és megalapította a Királyi Intézetet, még egy tudós társaságot a sok közül, amelyek gomba módra szaporodtak a XVIII. század végén és a következő század elején. Egy időben szinte ez volt az egyetlen rangos intézet, amely az új tudománynak számító vegytan előmozdítását támogatta, és ez szinte kizárólag egy Humphry Davy nevű, bámulatosan jó eszű fiatalembernek volt köszönhető, akit az intézet indítása után nem sokkal kineveztek a vegytan professzorává. Davyről hamarosan kiderült, hogy

kiváló előadó és termékeny kísérletező.

Nem sokkal új állásának elfoglalását követően egymás után fedezte fel az új elemeket: a káliumot, a nátriumot, a magnéziumot, a kalciumot, a stronciumot és az alumíniumot, amelynek az angol nyelvterületen kétféle helyesírása is használatos.[22] Az, hogy ennyi elemet fedezett fel, nem zsenialitása miatt volt, hanem elsősorban azért, mert kifejlesztett egy szellemes módszert: elektromos áramot vezetett olvasztott anyagokba; ma ezt elektrolízisnek nevezzük. Összesen egy tucat elemet fedezett fel, az akkoriban ismertek egyötödét. Davy még sokkal tovább is juthatott volna, de sajnos egyre gyakrabban használta ki a dinitrogén-oxid nyújtotta örömöket. Annyira hozzászokott a gázhoz, hogy naponta háromszor-négyszer is szívott belőle. 1829-ben valószínűleg ezért halt meg.

Szerencsére józanabb vegyészek is dolgoztak akkoriban. 1808-ban egy John Dalton nevű szigorú kvéker elsőként ismertette az atomok természetét (erről később még lesz szó), és 1811-ben Lorenzo Romano Amadeo Carlo Avogadro, Quarequa és Cerreto grófja – neve alapján egy olasz opera szereplőjének gondolnánk, de csak annyi igaz, hogy olasz volt – megtette azt a felfedezést, amely később nagyon fontosnak bizonyult: két bármilyen, de egyenlő térfogatú gáz azonos nyomáson és hőmérsékleten ugyanannyi molekulát tartalmaz.

Két dolgot érdemes megemlíteni a fent leírt Avogadro-törvényről. Először is, ennek alapján pontosabban meg lehetett mérni az atomok méretét és tömegét. Az Avogadro-törvény segítségével a vegyészek kiszámították például, hogy egy tipikus atom átmérője 0,00000008 centiméter, ami bizony nem túl sok. Másodszor pedig, ötven éven át szinte senki nem tudott a megnyerően egyszerű törvényről.[23]

Ez részben Avogadro tartózkodó természetének köszönhető – egyedül dolgozott, csak kevés tudóstársával levelezett, és nem járt el tudományos ülésekre – bár az az igazság, hogy abban az időben nem is voltak ilyen ülések, és csak nagyon kevés kémiai folyóirat jelent meg. Ez eléggé különös. A vegytan fejlődése az ipari forradalom egyik motorja volt, de maga a tudomány szervezett módon még évtizedeken át alig létezett.

A Londoni Vegytani Társaságot 1841-ben alapították meg, szabályos időközönként megjelenő lapja pedig csak 1848-ban indult el, akkor, amikor a legtöbb angliai tudós társaság – a geológiai, az állattani, a kertészeti és a Linné (az utóbbi természettudósoknak és növénykutatóknak) – már legalább húsz éve, de gyakran jóval régebben működött. Mivel a vegytan lassan lépett elő szervezett tudománnyá, Avogadro 1811-es felfedezésének híre sokakhoz nem jutott el az első nemzetközi kémiai tanácskozásig, amelyet 1860-ban tartottak Karlsruhében.

Mivel a vegyészek olyan régóta egymástól függetlenül dolgoztak, lassan fejlődtek ki az egyezményes elnevezések. A század második feléig a H_2O_2 vizet jelentett az egyik tudósnak, hidrogén-peroxidot a másiknak. A C_2H_4 jelenthetett etilént vagy metánt. Szinte nem is volt olyan molekula, amelyet ugyanúgy jelölt volna mindenki.

A vegyészek zavarba ejtően sokféle jelet és rövidítést használtak, amelyet gyakran saját maguk találtak ki. Végül a svéd J. J. Berzelius tett rendet, amikor megszabta, hogy az elemek vegyjelét azok görög vagy latin neve után állapítsák meg, ezért van például, hogy a vas vegyjele Fe (latinul a vas ugyanis ferrum), az ezüst pedig Ag (a latin argentum alapján). Az, hogy a vegyjelek jelentős része megfelel a magyar nevének is (N a nitrogén, O az oxigén, H a hidrogén, és így tovább), azért van, mert ezeket az elnevezéseket mi is a latinból vettük át. Berzelius felső indexszel jelölte, hogy egy molekulában egy atomból hány van, tehát a víz nála H^2O volt. Később, nem tudni, miért, mindenki rátért az alsó index használatára: H_2O.

A rendezési kísérletek ellenére a XIX. század második felében a vegytan még mindig meglehetősen zavaros volt, ezért örült mindenki, amikor 1869-ben a Szentpétervári Egyetem egy különös, kicsit őrült kinézetű professzora, Dimitrij Ivanovics Mengyelejev forradalmi javaslatot tett.

Mengyelejev 1834-ben született a nyugat-szibériai Tobolszkban egy művelt, jómódú és hatalmas családban; követhetetlenül sokan voltak; egyes források szerint tizenhárom, mások szerint tizenhat testvére volt. Az viszont biztos, hogy az ifjú Dimitrij volt a legkisebb. A Mengyelejev családot nem kísérte mindig a szerencse. Dimitrij még kicsi volt, amikor apja, a helyi iskola igazgatója megvakult, és ezért édesanyjának kellett munkába állnia. Ez a kivételes asszony végül egy jól menő üveggyár igazgatója lett. 1848-ig minden rendben is haladt, de akkor a gyár leégett, és a család teljes nyomorba süllyedt. Az anya eltökélte, hogy legkisebb fiát mindenképpen taníttatni fogja, ezért különféle kocsikra felkéredzkedve megtette a Szentpétervárig tartó mintegy hatezer kilométeres utat – képzeljük el, hogy Budapestről elmegyünk Szentpétervárra, majd vissza, és még egyszer Szentpétervárra – és elhelyezte Dimitrijt a Pedagógiai Intézetben. Az utazástól teljesen legyengülve hamarosan meg is halt.

Mengyelejev kötelességtudó diák volt, és végül kinevezték a város egyetemére. Hozzáértő, de nem különösebben kiemelkedő vegyésznek bizonyult, inkább torzonborz hajáról és szakálláról volt híres (amelyet csak évente egyszer volt hajlandó levágatni), mint laboratóriumi képességeiről.

1869-ben, harmincöt éves korában azonban elkezdett az elemek elrendezésével foglalkozni. Akkoriban az elemeket kétféleképpen csoportosították, vagy az atomtömegük szerint (az Avogadro-törvény alapján), vagy a közös tulajdonságok szerint. Mengyelejev rájött, hogy a két szempontot hogyan lehet egy táblázatban érvényesíteni.

A tudomány történetében nem ritkaság, hogy a nagy felfedezések előtt valaki már hasonló meglátásokat tesz. Így volt ez ebben az esetben is. John Newlands műkedvelő vegyész felvetette, hogy ha az elemeket tömegük szerint rendezzük, bizonyos tulajdonságok oktávok módjára ismétlődnek, tehát minden nyolcadik elem hasonló jellemzőkkel bír. Newlands nem látta át, hogy az idő még nem jött el, hogy előrukkoljon felfedezésével, és a jelenséget elnevezte az oktávok törvényének, hiszen a jelenség a zenei hangok elrendeződéséhez hasonlított. Lehet, hogy ötletét rosszul adta elő, mert elképzelését alapvetően hibásnak tartották, és széles körben kigúnyolták. A tudományos gyűléseken mindig akadt valaki, aki viccesen megkérdezte tőle, hogy rá tudja-e venni az elemeit, hogy egy kis dallamot játsszanak. Newlands elbátortalanodott, és hamarosan el is maradt az ülésekről és a tudományos életből.

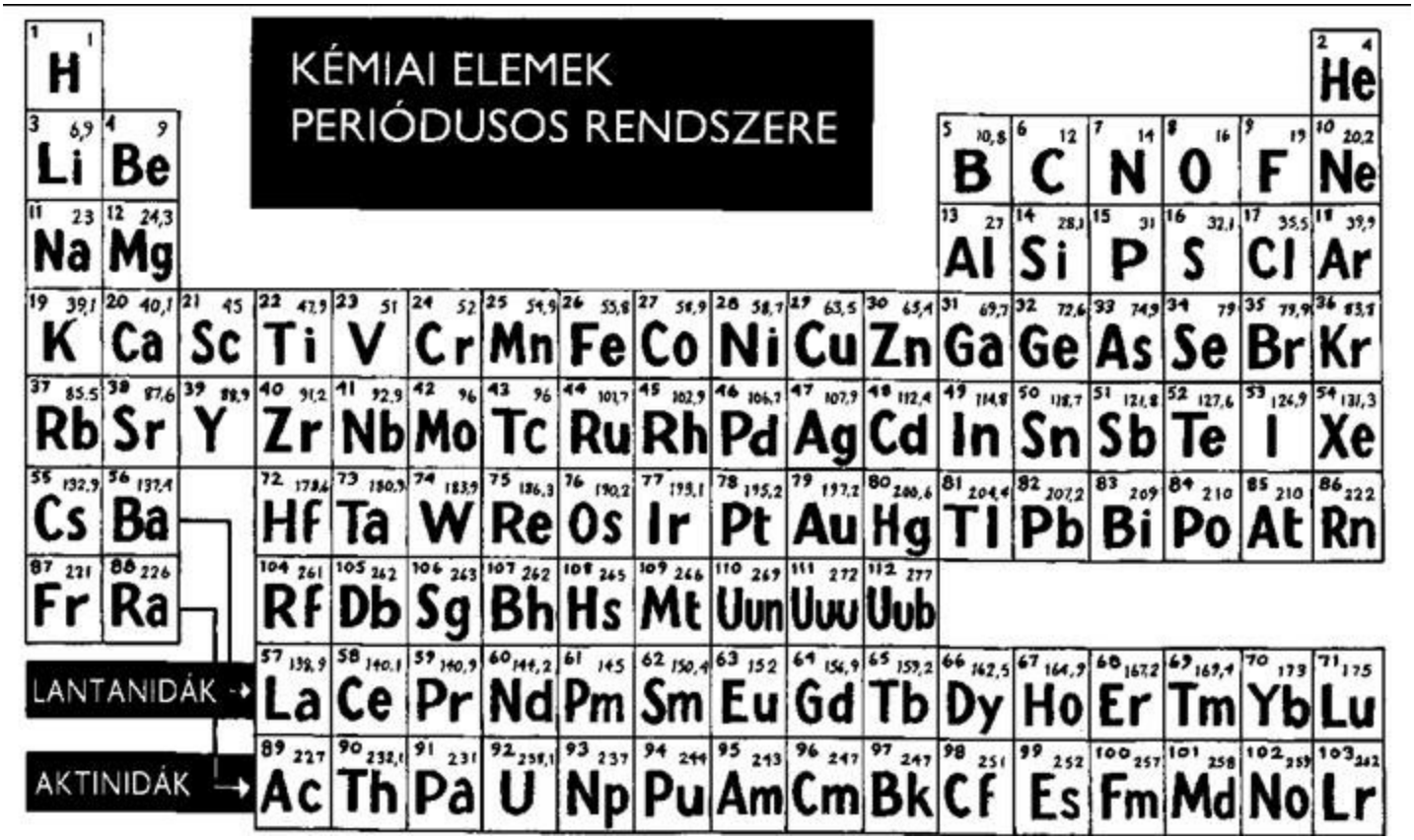
Mengyelejev egy kicsit másképpen – az elemeket hetesével csoportosítva – közelítette meg a problémát, de az elv ugyanaz volt. És ez hirtelen nagyon jó, és nagy távlatokat nyitó ötletnek tűnt. Mivel a tulajdonságok periodikusan ismétlődnek, a találmány neve periódusos rendszer lett.

Azt mondják, Mengyelejevet az Amerikában „solitaire”-nek, máshol pasziánsznak nevezett kártyajáték ihlette meg, ahol a kártyákat vízszintesen színük, függőlegesen értékük szerint kell elrendezni. Az alkalmazott elv hasonló volt. A vízszintes sorokat periódusnak, a függőleges oszlopokat csoportnak nevezte. Rögtön látszott, hogy az egy oszlopban, illetve egy sorban elhelyezkedő elemeknek vannak közös jellemzőik. Az oszlopokba a hasonló tulajdonságú elemek kerültek. Például a réz az ezüst fölött van, az ezüst pedig az arany fölött, mert ezek a fémek hasonló kémiai affinitásúak, a hélium, a neon és az argon pedig egy csupa gázból álló oszlopban foglalnak helyet. (A rendezés tényleges meghatározója az elemek elektron-vegyértéke, de ennek pontos magyarázata meghaladja a könyv határait.) A sorokban az atommagjukban lévő protonok száma, tehát rendszámuk szerint növekvő sorrendben láthatjuk az elemeket.

Az atomok szerkezetéről és a protonok jelentőségéről még szó lesz a következő fejezetben, itt és

most elég, ha értékelni tudjuk a rendező elvet: a hidrogénben egy proton van, ezért a rendszáma 1, és ez az első a sorban. Az urániumnak kilencvenkét protonja van, ezért a rendszer vége felé helyezkedik el, és rendszáma 92. Philip Ball megjegyzése szerint ebből a szempontból nézve a kémia csak számolás kérdése. (A rendszámot ne tévesszük össze az atomtömeggel, ami az adott elem protonjainak és neutronjainak a száma összesen.)

De sok mindent nem tudtak vagy értettek még. A világegyetem legközönségesebb eleme a hidrogén, de erre még vagy ötven évig senki sem jött rá. A héliumot, a második leggyakoribb elemet csak egy évvel Mengyelejev táblázatának megszületése előtt fedezték fel – létezését korábban nem is gyanították – és nem is a Földön, hanem a Napban látták meg spektroszkóppal egy napfogyatkozás során, ezért nevezték el Héliosz, a görög napisten után, 1895-ig pedig senki nem állított elő vegytiszta héliumot. Akárhogyan is, Mengyelejev újítása óta a vegytan szilárd alapokra került.



Legtöbbünk számára a periódusos rendszer legfeljebb absztrakt módon szép, de egy vegyésznek felülmúlhatatlan,

egyszerű rendező elv és világos sorrend. „A kémiai elemek periódusos rendszere kétségkívül a legelegánsabb szerkezeti ábra, amit ember valaha feltalált.” Ezt Robert E. Krebs írja *The History and Use of out Earth's Chemical Elements* (Földünk kémiai elemeinek története és felhasználása) című könyvében, de hasonló véleményt olvashatunk bármelyik, a vegytan történetével foglalkozó könyvben.

Ma körülbelül 120 elemet ismerünk – ezek közül kilencvenkettő előfordul a természetben is, a többit pedig elő lehet állítani. Azért nem egyértelmű, hogy valójában hány elem is van, mert a művileg előállítható nehézelemek csak mikromásodpercekig maradnak fenn, és a vegyészek néha még azt is megkérdőjelezik, hogy valóban észlelték-e őket. Mengyelejev idejében csak hatvanhárom elemet ismertek, de ő nagyon helyesen feltételezte, hogy az ismert elemekből nem állt még össze a teljes kép, tehát sok hiányzik még. A periódusos rendszer alapján előre lehetett tudni, hogy hová kerülnek, és

pontosan milyenek lesznek az új elemek.

Azt egyébként senki nem tudja, hogy hány elem bukkan még elő, de bármi, aminek az atomtömege meghaladja a 168-at, csak elméletben létezhet. Az viszont biztos, hogy ha bármit is találnak, az szépen beleillik majd Mengyelejev csodálatos rendszerébe.

A XIX. század még egy fontos meglepetést tartogatott a vegyészek számára. A dolog 1896-ban kezdődött, amikor Henri Becquerel Párizsban véletlenül egy csomag uránsót hagyott a fiókjában egy gondosan becsomagolt fényképlemezen. Amikor később elővette a lemezt, csodálkozva vette észre, hogy a só olyan nyomokat égetett bele, mintha fénynek lett volna kitéve, tehát valamiféle sugarakat bocsátott ki.

Becquerel, bár tisztában volt vele, hogy fontos felfedezést tett, furcsa dolgot cselekedett: átadta az ügyet egyik diákjának, aki éppen a doktori értekezésén dolgozott. Szerencsére ez a diák a Lengyelországból nemrég emigrált Marie Curie volt. Férjével, Pierre-rel együtt Marie Curie hamarosan rájött, hogy bizonyos fajta kövek folyamatosan nagy mennyiségű energiát bocsátanak ki anélkül, hogy méretük vagy bármely más tulajdonságuk észrevehetően megváltozna. Amit ő és férje nem tudtak – és senki más sem, amíg Einstein rá nem jött a következő évtizedben – az volt, hogy a kövek tömegük egy részét alakítják energiává soha nem látott hatékonysággal. Marie Curie a jelenséget radioaktivitásnak nevezte el. A házaspár munkája során két új elemet is felfedezett: a polóniumot, amit Marie hazája után neveztek el, és a rádiumot. 1903-ban a két Curie és Becquerel megosztva fizikai Nobel-díjat kapott. (Marie Curie-t 1911-ben kémiai Nobel-díjjal is kitüntették, és máig ő az egyetlen, aki a fizika és a kémia kategóriájában is nyert.)

A Montreali McGill Egyetemen egy fiatal új-zélandi, Ernest Rutherford elkezdett érdeklődni az új radioaktív anyagok iránt. Frederick Soddy nevű kollégájával felfedezték, hogy hatalmas energiaraktárak rejtőznek ezekben a kis anyagdarabkákban, és hogy ez az energia lehet a Föld hőjének az oka. Arra is rájöttek, hogy a radioaktív elemek más elemekké alakulnak át – egyik nap még urániumatomjuk volt, másnap pedig már ólom. Ez valóban elképesztő felfedezés volt, alkímia, akárhogy is csűrjük-csavarjuk; senki nem gondolta volna, hogy ilyesmi magától megtörténhet.

Rutherford volt kettőjük közül a pragmatikus gondolkodású, ezért ő ismerte fel a jelenség alkalmazhatóságát. Észrevette, hogy bármelyik radioaktív anyagminta feleződéséhez mindig ugyanannyi időre van szükség – ez a híres felezési idő[24] –, és hogy ez a megbízhatóan egyforma egységekre tagolódó folyamat egyfajta óraként használható. Ha visszafelé számoljuk, hogy mekkora egy anyag sugárzása most, és milyen gyorsan fogy, ki tudjuk számítani a korát. A módszert kipróbálta egy darab uránszurokércen (ez az uránium legfőbb érce), és arra jutott, hogy az 700 millió éves, vagyis sokkal régebbről származik, mint amennyi időt legtöbben a Föld korára adtak.

1904 tavaszán Rutherford Londonba utazott, hogy előadást tartson a Királyi Intézetben, a Rumford grófja által csak 105 éve alapított, tiszteletre méltó intézményben, bár az a rizsporos parókás kor a késői viktoriánusok „felgyűrjük az ingünk ujját, és nekilátunk” határozottságához képest mintha több száz éve lett volna. Rutherford új elméletéről, az anyagok radioaktív bomlásáról beszélt, és hozott magával egy darab uránszurokércet. Mivel az idősödő Kelvin is jelen volt – ha nem is mindig teljesen ébren –, Rutherford udvariasan megjegyezte, hogy maga Kelvin vetette fel, hogy ha találnának egy másféle hőforrást, számításai arra nem lennének érvényesek. Rutherford pedig éppen ilyen forrást talált. A radioaktivitás alapján a Föld valószínűleg sokkal öregebb, mint ahogyan Kelvin számította (az ő eredménye 24 millió év volt).

Kelvin jól viselte Rutherford tapintatos előadását, de a véleménye nem változott. Halála napjáig

nem fogadta el a Föld Rutherford szerinti korát, és úgy gondolta, saját számítása életének legfontosabb tudományos eredménye – fontosabb, mint termodinamikai munkássága.

A legtöbb forradalmi tudományos elképzeléshez hasonlóan Rutherford elméletét sem fogadták el azonnal vagy általánosan. A dublini John Joly komolyan hitte egészen 1933-ig, halála napjáig, hogy a Föld legfeljebb nyolcvankilencmillió éves. Másokat aggasztott a Rutherford által becsült idő nagysága. De még a radioaktív kormeghatározás (ez lett a bomlás alapján való kormeghatározás neve) segítségével is évtizedekbe telt, amíg a Föld valódi korát legalább milliárd év pontossággal meghatározták. A tudomány jó úton haladt, ami azonban igen hosszúnak bizonyult.

Kelvin 1907-ben halt meg, ugyanabban az évben, mint Dimitrij Mengyelejev. Az orosz tudós abban is hasonlított Kelvinhez, hogy ekkorra termékeny éveinek már régen vége volt, de sajnos az ő öregkora nem volt olyan derűs, mint szerencsésebb tudóstársáé. Mengyelejev ugyanis időskorára egyre furcsább lett. Nem volt hajlandó például elismerni a sugárzás, az elektron és szinte bármilyen újonnan felfedezett dolog létezését. Nehéz volt vele együttműködni. Életének utolsó évtizedeiben szinte minden laboratóriumi vagy előadótermi látogatása azzal végződött, hogy dühösen kirohant az adott helyiségből, és ezt megtette Európa számos intézetében és egyetemén. 1905-ben a 101-es elemet az ő tiszteletére mendeléviumnak nevezték el. Paul Strathern megjegyzése szerint „találóan, mert az elem meglehetősen instabil”.

A sugárzást persze mindez nem akadályozta meg, és egyre több tulajdonságát fedezték fel. Pierre Curie már a XX. század legelején a sugárbetegség egyértelmű tüneteit tapasztalta – tompa csontfájdalmat és állandó rossz közérzetet – ami valószínűleg egyre súlyosbodott volna. Ezt sajnos nem tudhatjuk biztosan, mert 1906-ban balesetben meghalt egy párizsi utcán – egy kocsi ütötte el.

Marie Curie életének hátralevő részében általános megbecsülés közepette dolgozott szakterületén. 1914-ben közreműködött a Párizsi Egyetem híres Rádium Intézetének megalapításában. Bár két Nobel-díjat is kapott, nem választották be a Francia Tudományos Akadémia tagjai közé, nagyrészt azért, mert férje halála után olyannyira nyílt szerelmi viszonyt folytatott egy nős fizikussal, hogy az még a franciáknak (vagy legalábbis az Akadémiát vezető idős uraknak) is sok volt.

Hosszú ideig azt gondolták, hogy egy olyan csodálatosan hathatós dolog, mint a radioaktivitás, csak jótékony hatású lehet. A fogpaszta- és hashajtógyárosok éveken át radioaktív tóriumot kevertek termékeikbe, és legalább 1930-ig a New York állambéli Finger-tavak melletti Glen Springs szálloda (és bizonyára sok más hasonló intézmény) büszkén hirdette „radioaktív ásványvizeinek” terápiás hatását. A radioaktív összetevők használatát a fogyasztási cikkekben csak 1938-ban tiltották be. Madame Curie szempontjából már túl későn; ő 1934-ben leukémiában halt meg. A sugárzás annyira ártalmas, és hatása olyan tartós, hogy a lapok, amelyekre az 1890-es években írt, de még az általa használt szakácskönyvek érintése is veszélyes. Laboratóriumi feljegyzéseit ólommal bélelt dobozokban tartják, és aki beléjük akar tekinteni, védőruhát kell hogy öltsön.

Az odaadó és akaratlanul nagy kockázatot vállaló első atomtudósoknak köszönhetjük, hogy a XX. század elejére kiderült: a Föld kétségkívül tiszteletreméltó korú, bár még vagy ötven évnyi kutatásra volt szükség, mielőtt valaki meghatározhatta volna, mennyire az. A tudomány maga pedig új korszakba került: az atomkorba.

III.
EGY ÚJ KORSZAK HAJNALA

„A fizikus az, ahogyan az atomok az atomokról gondolkodnak.”
Névtelen bölcs

8.
EINSTEIN VILÁGEGYETEME

A XIX. század vége felé a tudósok elégedetten hátradőlhettek, hiszen megfejtették az őket körülvevő világ legtöbb rejtélyét, például az elektromosság, a mágnesség, a gázok, a fénytan, a hangtan, a kinetika és a statisztikus mechanika törvényeit, hogy csak egy néhányat említsünk. Felfedezték a röntgensugarat, a katódsugarat, az elektront és a radioaktivitást, bevezették az ohmot, a wattot, a kelvint, a joule-t, az ampert és a kis erget.

Ha valamit lehetett oszcillálni, gyorsítani, perturbálni, desztillálni, vegyíteni, mérni vagy gázzá alakítani, ők megtették, és közben olyan súlyos és méltóságteljes törvényekre jöttek rá, hogy azokat angol nyelvterületen csupa nagy kezdőbetűvel írják: Electromagnetic Field Theory (az elektromágnesség térelmélete), Richter's Law of Reciprocal Proportions (Richter sztöchiometriai törvénye), Charles's Law of Gases (Charles gáztörvénye), a Law of Combining Volumes (Gay-Lussac-törvény), a Zeroth Law (a termodinamika nulladik főtétele), a Valence Concept (a vegyérték fogalma), a Laws of Mass Actions (a tömeghatás törvényei) és még számtalan más. Az egész világ csengett-bongott az általuk feltalált gépektől és eszközöktől. Sok bölcs ember hitte, hogy a tudománynak már nem lesz sok dolga.

1875-ben, amikor egy Max Planck nevű német ifjúnak Kielben el kellett döntenie, hogy matematikus vagy fizikus legyen-e, jó szándékú tanácsadói mind a fizika ellen érveltek, mert úgy látták, ott már minden fontosat felfedeztek. Szerintük a következő században már nem lesz forradalom, csak összehasonlítás, rendszerbe foglalás és finomítás. Planck nem hallgatott rájuk. Elméleti fizikát tanult, és testestől-lelkestől bevetette magát az entrópia, a termodinamika egyik központi kérdése tanulmányozásába; úgy gondolta, egy szorgalmas fiatalember ezen a téren még viheti valamire.[25] 1891-ben közzétette eredményeit, és döbbenten vette észre, hogy az entrópiával kapcsolatos tényekre már rájött előtte valaki más, mégpedig a Yale Egyetem egy magánakvaló tudósa, J. Willard Gibbs.

Gibbs valószínűleg a legokosabb ember mindazok közül, akikről a legtöbben soha nem hallottak. Az észrevehetetlenségig szerény tudós három, Európában tanulással töltött éven kívül szinte egész életét a háza és a Yale Egyetem közötti három háztömbnyi területen élte le a Connecticut állambeli New Havenben. Az egyetemen töltött első tíz év során még a fizetését sem vette fel. (A szüleitől örökölt szerény vagyonból élt.) 1871-től, amikor már professzor volt, 1903-ban bekövetkezett haláláig az általa tartott előadások szemeszterenként átlag alig több mint egy diákot vonzottak. Leírt gondolatai nehezen voltak olvashatók, ráadásul saját jelrendszert használt, amelyet a legtöbben nem is értettek. De e titkosírás mögött briliáns gondolatok rejtőztek.

1875 és 1878 között Gibbs kiadatott egy cikkgyűjteményt *On the Equilibrium of Heterogeneous Substances* (A heterogén anyagok egyensúlyáról) címmel, amelyben káprázatosan megmagyarázta szinte minden („gázok, keverékek, felületek, fázisátmenetek... kémiai reakciók, elektrokémiai cellák, ülepedés és ozmózis" – William H. Cropper felsorolása) termodinamikai alapelvét. Gibbs lényegében megmutatta, hogy a termodinamika nemcsak a hő és az energia – például egy nagy, zajos gőzgép – tudománya, hanem alkalmazható a kémiai reakciók atomi szintjén is. Gibbs *Equilibrium*a lett a „termodinamika *Principiá*ja", de számunkra megfejthetetlen okból Gibbs korszakalkotó felfedezéseit a *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* című folyóiratban publikálta, amit még a connecticutiak sem nagyon olvastak – ezért történhetett meg, hogy Planck sem hallott róla idejé-

ben.

A tántoríthatatlan, vagy legalábbis alapjaiban csak kicsit megingatott Planck figyelme most más dolgok felé fordult.[26] Hamarosan szó lesz ezekről, de először tegyünk egy fontos kitérőt az Ohio állambeli Cleve-landbe, ahol akkoriban működött egy Case Alkalmazott Tudományok Iskolája nevű intézmény. Az 1880-as években itt egy Albert Michelson nevű középkorú fizikus és barátja, Edward Morley vegyész olyan kísérletsorozatba kezdett, aminek a zavarba ejtően furcsa eredménye nagy dolgokhoz vezetett.

Michelson és Morley, bár eredeti szándékuk nem ez volt, megcáfoltak egy nagyon régi elképzelését, a fényt közvetítő éter létezését. Előttük úgy gondolták, hogy ez a stabil, láthatatlan, súlytalan és súrlódást nem okozó (és, mint kiderült, nem létező) közeg hatja át a világegyetemet. Az étert Descartes találta ki, Newton alkalmazta, és azóta senki nem kérdőjelezte meg, így középpontja lehetett a XIX. század fizikájának; többek között ezzel lehetett megmagyarázni a fény terjedését a tér ürességében. Különösen nagy szükség volt rá a XVIII. században is, mert a fényt és az elektromágnesség akkor már hullámnak, tehát valamiféle rezgésnek fogták fel. A rezgés viszont valamiben történik, és erre nagyon alkalmas volt az éter. J. J. Thomson, a nagy angol fizikus még 1909-ben is így nyilatkozott: „Az éter nem egy filozófusi kreálmány, olyan szükségünk van rá, mint a levegőre.” Sajnos ezt négy évvel azután mondta, hogy vitathatatlanul bebizonyították, hogy nem létezik. Az emberek tehát nagyon ragaszkodtak az éterhez.

Ha egy példát akarunk mutatni arra, miért nevezték a XIX. század Amerikáját a lehetőségek hazájának, erre nagyon alkalmas Albert Michelson életútja. 1852-ben született a lengyel-német határ közelében egy szegény zsidó kereskedőcsaládban. A Michelson család még Albert kétéves korában kivándorolt az Egyesült Államokba, és mivel ez éppen az aranyláz idején volt, a kisfiú egy kaliforniai bányásztáborban nőtt fel, ahol apja szövetáru-kereskedéssel próbálkozott. Nem volt elég pénz a fiú egyetemi továbbtanulásához, ezért Albert Washingtonba utazott, és a Fehér Ház lépcsőjénél megvárta, amíg Ulysses S. Grant, az elnök visszatér mindennapos egészségügyi sétájáról (mint láthatjuk, ez egy ártatlanabb kor volt), és mellészegődött. A séták során Michelson annyira összebarátkozott az elnökkel, hogy az ingyenes helyet biztosított számára az Egyesült Államok Tengerészeti Akadémiáján. Itt Michelson főként fizikát tanult.

Tíz évvel később, már a clevelandi Case Iskola tanáraként Michelson érdeklődése az úgynevezett éteráramlás megmérése felé fordult; ezt valamiféle ellenszélként képzelték el, amit a térben mozgó tárgyak keltenek. A newtoni fizikából az következett, hogy a fény sebessége (természetesen az éteren keresztül) függ attól, hogy a megfigyelő hogyan változtatja helyzetét a fényforráshoz képest, de senki nem tudta, hogyan lehetne ezt megmérni. Michelsonnak eszébe jutott, hogy a Nap körül keringő Föld egy kiválasztott csillaghoz fél évig közelít, fél évig pedig távolodik tőle, ezért arra gondolt, hogy ha féléves különbséggel végezne méréseket, és összehasonlítaná a fény két különböző utazási idejét, meglenne a válasz.[27]

Michelson rávette Alexander Graham Bellt, a telefon feltalálásából nem sokkal korábban meggazdagodott üzletembert, hogy támogassa egy általa tervezett szellemes és érzékeny berendezés, az interferométer felállítását, amely nagy pontossággal megmérné a fény sebességét. A következő éveket Michelson a zseniális, de határozatlan Morleyval együtt aprólékos méregetéssel töltötte. A munka nagy odafigyelést igényelt, és kimerítő volt; egy ideig abba is kellett hagyni, amikor Michelsonnak múló, de teljes idegösszeomlása volt. Az eredmény 1887-re született meg, és mindkét tudóst meglepte.

Kip S. Thorne, a Caltech asztrofizikusa szavaival: „A fénysebességről kiderült, hogy minden irány-

ban, minden évszakban azonos.” Kétszáz év után ez volt az első jele, hogy a newtoni törvények nem érvényesek bármikor, bárhol. A Michelson-Morley-eredmény William H. Cropper szerint „valószínűleg a fizika történetének leghíresebb negatív eredménye”. Michelson húsz évvel később munkájáért Nobel-díjat kapott – ő volt az első amerikai Nobel-díjas a fizika területén. A közben eltelt időben a Michelson-Morley-kísérlet kellemetlen páraként ült rá a tudományos gondolkodás világára.

A XX. század hajnalán Michelson, eredményei ellenére, azok közé tartozott, akik úgy gondolták, hogy már nem maradt sok tudományos felfedeznivaló, „már csak egy pár tornyocska és oromdísz hiányzik, és néhány tetőgerendát kell kifaragni”, a *Nature* egyik szerzőjének szavaival élve.

Valójában azonban a világ a tudomány olyan évszázadába lépett, amikor a legtöbben nem fognak semmit érteni, és senki nem fog mindent érteni. A tudósok egyszer csak a részecskék és antirészecskék meghökkentő birodalmában találják magukat, ahol egyes dolgok csak olyan rövid ideig léteznek, amelyhez képest a nanoszekundumok fárasztóan unalmasak, és ahol minden furcsa és idegen. A tudomány a makrofizika világából, ahol a testeket látni, tapintani és mérni lehet, a mikrofizikába lépett, ahol az események elképzelhetetlen gyorsasággal esnek meg hihetetlenül kis méretekben. A kvantumkorszak következik, és az első ember, aki kinyitotta ennek ajtaját, az eddig oly szomorú sorsú Max Planck lesz.

1900-ban, negyvenkét évesen a Berlini Egyetem elméleti fizikusaként megalapozta az új tudományágat, a kvantumelméletet, amely szerint az energia nem folytonos mennyiség, hanem egyedi csomagokban érkezik, amelyeket kvantumoknak nevezett el. Ez teljesen új, de helyes elképzelés volt. Rögtön megmagyarázta például a Michelson-Morley-kísérletet, hiszen ebből következőleg a fénynek nem kötelező hullámnak lennie. Hosszabb távon még nagyobb hatása volt: ez alapozta meg az egész modern fizikát. Mindenképpen ez volt a változó világ első jele.

A korszakot meghatározó esemény azonban 1905-ben történt, amikor az *Annalen der Physik* című német fizikai folyóiratban megjelent egy ifjú svájci hivatalnok cikksorozata, aki még csak egy egyetemhez sem tartozott, nem volt bejárása egyetlen laboratóriumba sem, és nem járt nagyobb könyvtárba, mint a Berni Szabadalmi Hivatal Könyvtára, ahol harmadosztályú műszaki szakértő volt. (Nem sokkal korábban utasították el kérelmét, hogy nevezzék ki másodosztályú műszaki szakértőnek.)

Úgy hívták, hogy Albert Einstein, és ebben az eseménydús évben öt cikke is megjelent az *Annalen der Physik*ben, amelyek közül három, C. P. Snow szerint, „a fizikatörténet legnagyobb áttörései közé tartozott” – az egyikben Planck új kvantumelmélete alapján vizsgálta a fényelektromos jelenséget, a másik a kis részecskék oldatban való mozgásáról (a Brown-mozgásról) szólt, a harmadik pedig körvonalazta a speciális relativitáselméletet.

Az első, a fény természetét megvilágító (és többek között a televíziót lehetővé tevő) cikk miatt megkapta a Nobel-díjat.[28] A másodikban bebizonyította, hogy az atomok valóban léteznek – érdekes módon még mindig volt, aki ezt vitatta. A harmadik egyszerűen csak megváltoztatta a világot.

Einstein a dél-németországi Ulmban született 1879-ben, és Münchenben nőtt fel. Gyermekkorában nem sok minden utalt arra, hogy később mi lesz belőle. Beszélni például csak hároméves korában tanult meg. Mivel apja elektrokémiai gyára egyre rosszabbul jövedelmezett, 1894-ben a család Milánóba költözött, de az ifjú Albert Svájcban folytatta tanulmányait – elsőre nem vették fel az egyetemre.[29] 1896-ban feladta német állampolgárságát, hogy ne kelljen bevonulnia a hadseregbe, és beiratkozott a Zürichi Műszaki Főiskola négyéves tanárképző kurzusára. Nagyon okos diák volt, de nem emelkedett ki a többiek közül.

1900-ban diplomát kapott, és néhány hónap múlva már cikkeket írt az *Annalen der Physik*nek. Első

dolgozata a hajszálcsövekben (ilyen pl. a szívószál is) haladó folyadék fizikájával foglalkozott, és ugyanabban a számban jelent meg, ahol Planck kvantumelmélete. 1902 és 1904 között egy sor cikke jelent meg a statisztikus mechanika tárgykörében, de később rájött, hogy a csendes, de termékeny connecticuti J. Willard Gibbs már ezt is kitalálta és meg is írta *Elementary Principles of Statistical Mechanics* (A statisztikus mechanika elemi alapelvei) címmel.

Albert szerelmes lett egy Mileva Maric nevű diáktársába. 1901-ben született egy törvénytelen lányuk, akit diszkréten örökbe adtak; Einstein még csak nem is látta. Két év múlva összeházasodtak. A két esemény között, 1902-ben Einstein elfoglalta állását a svájci szabadalmi hivatalban, és a következő hét évben ott dolgozott. Élvezte ezt a munkát: elég érdekes volt ahhoz, hogy munkaidőben elfoglalja a gondolatait, de elég szabadságot hagyott neki, hogy fizikával is foglalkozhasson. Ez volt tehát a speciális relativitáselmélet 1905-ös születésének háttere.

*A mozgó testek elektrodinamikájá*ról a világ valaha megjelent tudományos dolgozatainak talán a legegyedülállóbbika, és nemcsak tartalma, hanem formája miatt is. Nem voltak benne lábjegyzetek, idézetek, szinte matematikai levezetések sem, nem utalt egyetlen megelőző eredményre, ami hatással lett volna rá, és csak egyetlen valaki segítségét köszönte meg: szabadalmi hivatali kollégája, Michele Besso közreműködését. C. P. Snow szerint olyan volt, mintha Einstein „az összes következtetésre csupán gondolati úton, segítség és mások véleményének meghallgatása nélkül jutott volna el. És bármilyen meglepő, ez nagyrészt igaz is".

Híres képlete, az $E = mc^2$ nem szerepelt a cikkben, csak egy néhány hónappal később megjelenő függelékben. Az olvasó bizonyára tudja, hogy E az energiát, m a tömeget, c^2 pedig a fény terjedési sebességének négyzetét jelenti.

A képlet nagyon leegyszerűsítve azt jelenti, hogy a tömeg és az energia egymással egyenesen arányos. Ugyanannak a dolognak a két különböző megjelenése; az energia az anyagból szabadul fel, az anyag pedig energiává alakulhat. Mivel a c^2 hatalmas szám, ezek szerint minden anyagban hatalmas energiamennyiség rejtőzik.[30]

Lehet, hogy az olvasó nem érzi magát Herkulesnek, de az átlagos felnőtt testében $7xl0^{18}$ joule energia rejtőzik – harminc hatalmas hidrogénbomba energiája –, csak éppen nem tudjuk, hogyan szabadítsuk fel. És ez az energia mindenben ott van. Viszont még nincsen igazán hatékony módszerünk a kinyerésére. Még egy urániumbomba – az ember alkotta tárgyak közül ez szabadítja fel a legnagyobb energiamennyiséget – is csak tömegének kevesebb mint 1%-át alakítja energiává.

Einstein elmélete sok más mellett a sugárzás természetére is rávilágított. Megmagyarázta, hogy egy urániumdarab hogyan tud folyamatosan nagy mennyiségű energiát kibocsátani anélkül, hogy jégkockaként elolvadna. Az elmélet alapján az is világos, hogy a csillagok hogyan éghetnek évmilliárdokon keresztül, a fűtőanyag elhasználása nélkül. Einstein egyszerű képlete rögtön biztosította a geológusok és a csillagászok számára az évmilliárdokat. A speciális relativitáselmélet megmutatta, hogy a fény sebessége állandó és mindenek fölötti. A fényt semmi nem előzheti meg. Fény derült ezzel a világegyetem természetére. És nem utolsósorban megoldotta a fényt közvetítő éter problémáját, Einsteintől ugyanis végre olyan világegyetemet kaptunk, amelyben erre nem volt többé szükség.

A fizikusok általában nem adnak különösebb hitelt a svájci szabadalmi hivatalnokok ötleteinek, és ezért Einstein korszakalkotó dolgozatai először nem keltettek nagy feltűnést. Bár máris megoldotta a világegyetem egy-két legnagyobb rejtélyét, amikor nem sokkal később egyetemi előadónak jelentkezett, elutasították, és amikor azt követően egy középiskolai tanári állásra pályázott, oda sem vették fel. Így hát maradt harmadosztályú hivatalnok, de a gondolkodást azért nem hagyta abba. Még sok mindent

kellett kitalálnia.

Amikor Paul Valéry, a költő egyszer megkérdezte Einsteint, hogy az ötleteit fel szokta-e jegyezni, a tudós meglepődött. – Nem szükséges – válaszolta. – Ritkán támadnak jó ötleteim.

Amikor viszont mégis jó ötlet jutott az eszébe, az általában nagyon jó volt. Einstein következő gondolatához foghatót tényleg még senki nem talált ki, legalábbis Boorse, Motz és Weaver szerint, akik ezt írják az atomfizika történetéről szóló könyvükben: „Egyetlen agy szüleményeként ez kétségtelenül az emberiség legmagasabb intellektuális teljesítménye.” Nem kis dicséret.

A legenda szerint 1907-ben Albert Einstein látott egy tetőről leeső munkást, és elkezdett a gravitáción gondolkodni. De mint minden jó történet, ez is kétes hitelességű. Einstein állítása szerint egyszerűen csak ült egy széken, amikor a gravitáció problémája az eszébe jutott.

Einstein ötlete több volt, mint a gravitáció problémája megoldásának kezdete, hiszen az első perctől fogva tudta, hogy a speciális relativitáselméletből hiányzik a gravitáció. A speciális relativitáselmélet azért speciális, mert csak olyan testekre igaz, amelyek lényegében akadálytalanul mozognak. De mi történik, ha egy mozgó test – és különösen, ha a fény – kölcsönhatásba kerül valamivel, például gravitáció hat rá? A következő tíz évben főként ezzel a kérdéssel foglalkozott, és 1917 elején megjelent *Kozmológiai megfontolások az általános relativitáselmélet alapján* (Kosmologische Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie) című munkája. Az 1905-ös speciális relativitáselmélet mélyreható és fontos mű volt, de P. Snow szerint, ha Einsteinnek nem jut az eszébe, másnak biztosan, akár öt éven belül is; mondhatni, a dolog már a levegőben volt. Az általános relativitáselmélettel viszont más a helyzet. „Einstein nélkül lehet, hogy még mindig várnánk, hogy valaki felfedezze az elméletet” – írta Snow 1979-ben.

Einstein azonban a maga zsenialitásával, háttérbe húzódó modorával és összevissza álló hajával túl különleges egyéniség volt ahhoz, hogy sokáig a háttérben maradjon, és 1919-ben, amikor a háborúnak vége lett, hirtelen felfedezték. Relativitáselméleteiről rögtön elterjedt, hogy a közönséges földi halandó számára felfoghatatlanok. A dolgok akkor sem javultak, amikor (David Bodanis kiváló, $E = mc^2$ című könyve szerint) a *New York Times* írni akart róla, és azóta is megfejthetetlen okból az újság golfszakértőjét, Henry Crouchot küldték ki interjút készíteni.

Crouch szakterülete reménytelenül távol volt Einsteinétől, ezért cikke szinte minden mondatában van egy tévedés. Az egyik legemlékezetesebb állítás a cikkben, hogy Einstein talált egy olyan bátor kiadót, aki hajlandó megjelentetni könyvét, amit a világon összesen tizenkét ember értene. Nem volt könyv, nem volt kiadó, nem létezett a „tizenkét tudós klubja”, de a dolog valahogyan a köztudatban maradt. És a relativitáselméletet megértők elképzelt száma egyre zsugorodott – a tudományos világ, meg kell mondanunk, nem tett sokat e mítosz cáfolatának érdekében.

Amikor egy újságíró megkérdezte Sir Arthur Eddington brit csillagászt, hogy ő valóban egyike-e annak a három embernek, aki érti Einstein relativitáselméleteit, Eddington mélyen elgondolkodott, és ezt válaszolta: – Csak azon gondolkodom, hogy ki lehet a harmadik. – A relativitással nem az volt a gond, hogy túl sok differenciálegyenletet, Lorentz-transzformációt vagy más bonyolult matematikát tartalmazott (márpedig sok ilyen volt benne; egyes részeknél Einstein segítségre is szorult), hanem az, hogy annyira nem köthető mindennapi tapasztalatainkhoz.

A relativitáselmélet lényegében azt mondja ki, hogy a tér és az idő nem abszolút dolgok, hanem függnek a megfigyelőtől és a megfigyelt testtől, és ezek minél gyorsabban mozognak, annál nyilvánva-

lóbbak ezek az effektusok. Soha nem érhetjük el a fény sebességét, és akárhogyan próbálkozunk (minél gyorsabban mozgunk), annál jobban torzulunk a velünk nem együtt mozgó megfigyelő szemében.

A tudomány népszerűsítői szinte azonnal elkezdtek olyan módszereket kidolgozni, amelyekkel ezek a fogalmak megmagyarázhatók lesznek a nagyközönség számára. Az egyik (legalábbis üzletileg) legsikeresebb próbálkozás Bertrand Russell *The ABC of Relativity* (A relativitás ábécéje) című könyve volt. Ebben Russell egy olyan példát talált ki, amelyet azóta rengetegen alkalmaznak. Az olvasót arra kérte, hogy képzeljen el egy 100 méter hosszú vonatot, amely a fénysebesség 60%-ával halad. Ha valaki a peronról nézi, úgy látja, a vonat összes tartozékaival együtt 80 méteresre rövidült. Ha hallanánk az utasokat, hangjuk lassú lenne, mintha a lemezjátszón rossz sebességet állítottunk volna be, és mozdulataik is lassúaknak látszanának. Még a vonat órája is késne, az is 80%-os sebességgel mozogna.

A vonat utasai viszont – és ez itt a lényeg – mindezt észre sem vennék. Az ő számukra a vonaton minden teljesen normálisnak tűnne, viszont minket, akik a peronon állunk, összenyomottaknak és furcsán lassúaknak látnának. Tehát minden attól függ, hogy a megfigyelő hogyan mozog (vagy áll) a megfigyelt testhez képest.

A jelenség persze minden mozdulatunkkor megtörténik. Ha átrepülünk egy földrész felett, a másodperc egy parányi töredékrészével kevésbé öregszünk, mint azok, akiket otthagytunk. Még amikor a szoba egyik feléből a másikba megyünk, akkor is egy egészen picit torzul tér- és időélményünk. Kiszámították, hogy ha egy métalabdát 160 km/h sebességgel dobnak el, az 0,000000000002 grammal nagyobb tömegű lesz repülése közben. Tehát a relativitás hatása valódi és mérhető. A gond csak az, hogy ezek a különbségek túl kicsik ahhoz, hogy a gyakorlati életben számítsanak. De a világegyetem más szereplői – a fény, a gravitáció, sőt maga a világegyetem – számára már fontosak.

Ha tehát furcsálljuk a relativitás gondolatát, az csak azért van, mert hatásait soha nem tapasztaljuk meg. Másféle relativitással viszont mindennap találkozunk, például a hanggal kapcsolatban (itt megint Bodanistól idézek). Ha például egy parkban ülve kellemetlen zenét hallunk, tudjuk, hogy ha odébb megyünk, kevésbé fogjuk hallani. És ez persze nem azért van, mert a zene halkabb lett, hanem mert máshonnan érzékeljük. Egy sokkal lassabb lény viszont, például egy csiga, el sem tudná képzelni, hogy elég távolra juthat a hangszórótól ahhoz, hogy a zene halkuljon, vagyis hogy két különböző megfigyelő ugyanazt a dolgot másképpen érzékelje.

Az általános relativitáselmélet legkevésbé érthető, legidegenebb része az, hogy az idő a térhez tartozik. Az időt ösztönösen öröknek, abszolútnak és megváltozhatatlannak képzeljük; azt gondoljuk, múlását semmi nem befolyásolhatja. Einstein szerint azonban az idő állandóan változik. Még alakja is van. A téridőnek nevezett furcsa dimenzióban „kibogozhatatlanul össze van kapcsolva” a tér három dimenziójával (Stephen Hawking szavai).

A téridő elképzeléséhez gondoljunk egy sík, de rugalmas felületre, például egy matracra vagy kifeszített gumilepedőre, amelyen egy nehéz, gömbölyű tárgy van, például egy vasgolyó. A golyó súlya alatt a felület kicsit elváltozik: nyúlik, benyomódik. Körülbelül ilyen a nagy tömegű testek, például a Nap hatása a téridőre: megnyújtja, behajlítja, elgörbíti. Ha most egy kisebb golyót elgurítunk a felületen, az Newton törvényei szerint egyenes vonalban igyekezne mozogni, de a nagyobb golyó közelében lefelé, a vasgolyó irányába módosítaná pályáját. Ez a gravitáció: a téridő görbülése.

Minden, tömeggel bíró test egy kicsit „benyomja” a kozmosz vagy a téridő szövetét. Ezért a világegyetem Dennis Overbye szerint „a világ legnagyobb hepehupás matraca”. A gravitáció, ha így tekintjük, csak valaminek az eredménye, vagyis „nem erő, hanem a téridő görbülésének melléktermékе”, Michio Kaku fizikus szavaival, aki így folytatja: „Bizonyos értelemben a tömegvonzás nem is létezik;

a bolygókat és csillagokat a tér és az idő torzulása mozgatja.”

A hepehupás matrac hasonlatával ennél messzebbre nem mehetünk, mert abban az idő fogalma még nem is szerepel. De tovább azért sem jutnánk, mert szinte lehetetlen elképzelnünk az összeszövődött három térbeli és egy idődimenziót. Azt azonban, remélem, sikerült éreztetnem az olvasóval, hogy ez a gondolat hihetetlenül nagyszabású volt ahhoz képest, hogy egy svájci szabadalmi hivatal ablakán kibámuló fiatalember agyában született meg.

Einstein általános relativitáselméletéből többek között az is következik, hogy a világegyetem vagy tágul, vagy zsugorodik. De Einstein nem volt kozmológus, ezért elfogadta korának elképzelését, hogy a világegyetem állandó és örök. Egyenleteibe ezért önkéntelenül belefoglalt egy úgynevezett kozmológiai állandót a gravitáció hatásának ellensúlyozására. A tudománytörténeti könyvek mindig megbocsátják Einstein ezen botlását, de tudnunk kell, hogy tudományos szempontból meghökkentő lépés volt, amit ő maga is „élete legnagyobb baklövéseként” tartott számon. Pontosan akkor, amikor Einstein elméletét kiegészítette a kozmológiai állandóval, az arizonai Lowell csillagvizsgálóban Vesto Slipher (neve alapján származhatna a Galaxis egyik külső bolygójáról, valójában azonban indianai volt) a távoli galaxisok színképi adatait kiértékelve észrevette, hogy azok távolodnak tőlünk. A világegyetem tehát mégsem statikus. A Slipher vizsgálta galaxisok egyértelműen a Doppler-eltolódás jeleit mutatták; ugyanarról a jelenségről van szó, mint amikor a versenyautók egyre magasabb hangon süvítenek, ahogyan közelednek, majd mélyebben búgnak, amint távolodnak.[31] A jelenség igaz a fényre is, azt a távolodó galaxisok esetében vöröseltolódásnak nevezik, mert a tőlünk távolodó fény a színskála vörös vége felé tolódik, a közeledő fény pedig az ibolya felé.

Slipher mutatta ki elsőként a Doppler-hatást a galaxisok fényében, és azt is felismerte, hogy a dolog segítségünkre lesz a kozmosz változásainak megértésében. Sajnos nem sokan hallgattak rá. A Lowell Csillagvizsgáló, talán emlékszik még rá az olvasó, kicsit fura intézménynek számított, amióta Percival Lowell mindenképpen csatornákat akart találni a Marson, és ezért az 1910-es években a csillagászati élet perifériájára került. Slipher ezért nem tudott Einstein relativitáselméletéről, a világ pedig nem tudott Slipherről, így felfedezése hatástalan maradt.

A dicsőség a már enélkül is túl magabiztos Edwin Hubble-é lett. Hubble 1889-ben született, tíz évvel volt fiatalabb Einsteinnél. Egy kis missouri városkában látta meg a napvilágot az Ozark-hegység lábánál. Gyermekkorát részben ott, részben az illinoisi Wheatonban, Chicago egyik kertvárosában töltötte. Apja sikeres biztosítási szakember volt, így Edwin az élet napos oldalát ismerte, ráadásul jó fizikai adottságai voltak. Erős és tehetséges sportoló volt, kedves, okos és borzasztóan jóképű; William H. Cropper leírása szerint „annyira jóképű volt, hogy az már szinte csúnya”; egy másik rajongója pedig Adoniszhoz hasonlította. Saját beszámolója szerint mozgalmas életébe belefértek különféle hősies tettek is: fuldoklók kimentése, rémült katonák kimenekítése a francia csatatérről, világhírű bokszbajnokok megszégyenítése kiütéssel hetivásárokon. Egy kicsit túl szép ahhoz, hogy igaz legyen. És sajnos bizonyított tény, hogy Hubble minden jó adottsága mellett megrögzött hazudozó is volt.

Ez nagyon furcsa, hiszen Hubble kicsi kora óta már-már nevetséges mértékben kivételezett volt. 1906-ban egyetlen középiskolai atlétikai versenyen megnyerte a rúdugrást, a súlylökést, a diszkoszvetést, a kalapácsvetést, a magasugrást (helyből és nekifutásból is), és benne volt a győztes hosszútávfutó váltócsapatban – ez hét győzelem egy versenyen – és harmadik lett távolugrásban. Még abban az évben új állami rekordot állított fel magasugrásban.

Diákként is csak sikerei voltak. Gond nélkül bejutott a Chicagói Egyetem fizika-csillagászat szakára (ahol éppen Albert Michelson volt a tanszékvezető). Ő lett az egyik első oxfordi Rhodes-ösztöndíjas. Az Angliában töltött három év kicsit elvarázsolta, hiszen 1913-ban Inverness (frakkhoz hordott ujjatlan nagygalléros) köpenyben, szájában pipával és sajátosan zengzetes – nem teljesen brit és nem teljesen amerikai – kiejtéssel tért haza; az utóbbi vonás megmaradt egész életében. Bár később azt állította, hogy a század második évtizedének legnagyobb részében jogászként dolgozott Kentuckyban, valójában az Indiana állambeli New Albany középiskolájában tanított és vezette a kosárlabdacsapatot, mielőtt (kicsit későn) ledoktorált, és egy rövid ideig katonai szolgálatot is teljesített. (Franciaországba egy hónappal a fegyverszünet előtt érkezett, és szinte teljesen biztos, hogy életében egyetlen, emberi célpontra irányuló puskalövést sem hallott.)

1919-ben, harmincévesen Kaliforniába költözött, és elhelyezkedett a Los Angeles melletti Mount Wilson Csillagvizsgálóban, ahol gyorsan és kicsit váratlanul a XX. század egyik legkiválóbb csillagásza lett.

Itt érdemes egy kicsit megállni, és felmérni, hogy akkoriban milyen keveset tudtak a kozmoszról. A mai csillagászok szerint a világegyetem látható része körülbelül 140 milliárd galaxist tartalmaz. Ez a szám sokkal nagyobb, mint gondolnánk. Ha a galaxisok például borsószemek lennének, ennyi megtöltene egy szép nagy előadótermet, mondjuk a régi Boston Kertet, vagy a Royal Albert Hallt. (Ezt egy Bruce Gregory nevű asztrofizikus számította ki.) 1919-ben, amikor Hubble először nézett távcsőbe, az ismert galaxisok száma pontosan egy volt: a Tejútrendszer. Minden mást vagy a Tejútrendszer részének gondoltak, vagy távoli gázfelhőnek. Hubble gyorsan megcáfolta ezt a véleményt.

A következő évtizedben Hubble a világegyetem két legalapvetőbb tulajdonságát próbálta kideríteni: vajon mekkora és mennyi idős. Mindkét kérdésre meg akarta találni a választ, és ehhez kétféle adatra volt szüksége: bizonyos galaxisok milyen távol vannak tőlünk, és milyen gyorsan távolodnak (mi a távolodási sebességük). A vöröseltolódás mértékéből kiderül, hogy milyen sebességgel távolodnak a galaxisok, de az nem, hogy milyen messze vannak. Ehhez úgynevezett standard gyertyákra van szükség: olyan csillagokra, amelyek fényességét ki lehet számítani, és ehhez lehet mérni a többi csillag fényességét (abból pedig a távolságát).

Hubble szerencséjére nem sokkal az ő vizsgálatai előtt egy Henrietta Swan Leavitt nevű zseniális nő kitalálta, hogyan lehet ilyen csillagokat keresni. Leavitt a Harvard Egyetem Csillagvizsgálójában dolgozott segédmunkatársként („komputer” volt). Fényképlemezeken vizsgálta a csillagokat, és számításokat végzett. Rabszolgamunka volt, de a Harvardon egy nő annak idején ennél nem juthatott közelebb a csillagászathoz. A rendszer igazságtalan volt, de bizonyos szempontból mégis előnyös: a rendelkezésre álló kifinomult elmék fele olyan munkával foglalkozott, amit mások nem biztos, hogy nagyon körültekintően végeztek volna, és ezek a nők tudták értékelni a kozmosz finom szerkezetét, amire férfi társaik gyakran nem voltak fogékonyak.

Az egyik ilyen segédmunkatárs, Annie Jump Cannon olyan jól ismerte a csillagokat, hogy kitalált számukra egy nagyon célszerű színkép-osztályozási rendszert, amely máig használatban van. Leavitt ennél is fontosabb eredményre jutott. Észrevette, hogy a cefeida típusú változócsillagok (a név onnan származik, hogy tipikus képviselőjük, a Delta Cephei) szabályos ütemben, szívdobogásszerűen pulzálnak. A cefeidák nagyon ritkák, de egyiküket, a Polarist, vagyis az északi Sarkcsillagot jól ismerjük.

Ma már tudjuk, hogy a cefeidák lüktetését az okozza, hogy túl vannak azon a hosszú fejlődési fázison, amikor a csillag magjában a hidrogén héliummá alakul, és már vörös óriások is voltak. A vörös óriásokban lezajló kémiai folyamatok leírása meghaladja a könyv kereteit (megértéséhez ismernünk

kellene az egyszeresen ionizált héliumatomok természetét és sok minden mást is). A dolog lényege röviden az, hogy maradék fűtőanyagukat úgy égetik, hogy a folyamat során időnként olyan állapotba kerülhetnek, amikor valamilyen zavar hatására a csillag külső rétegei ritmikusan pulzálni – tágulni majd összehúzódni – kezdenek, amit periodikus és szabályos fényesedés és halványulás kísér. Leavitt csodálatos felismerése az volt, hogy ha összehasonlítjuk az égbolt különböző helyein látható cefeidák látszó fényességét, akkor ki tudjuk számítani, hogy milyen távolságban helyezkednek el. Standard gyertyaként használhatók tehát. Ez volt az első módszer a nagy világegyetem megmérésére.

(A felfedezést az olvasó talán jobban fogja értékelni, ha tudja, hogy amíg Leavitt és Cannon a kozmosz alaptulajdonságaira következtettek a halvány pontokból, amelyek távoli csillagokat jelentettek a fényképlemezen, William H. Pickering harvardi csillagász, aki persze akkor használhatta az elsőrangú távcsöveket, amikor csak akarta, szintén egy nagy hatású, eredeti gondolatokban gazdag elméletet dolgozott ki, nevezetesen azt, hogy a Holdon lévő sötétebb foltokat a növénytakaró időszakos változásai okozzák.)

Leavitt kozmikus mérőrúdjának és Vesto Slipher szellemes vörösel-tolódási elméletének birtokában Hubble újrakezdte az űr egyes pontjainak mérését. 1923-ban bebizonyította, hogy az Androméda csillagkép M31-es jelű, távoli, pókhálószerű ködje egyáltalán nem gázfelhő, hanem sok-sok izzó csillag, egy külön galaxis, ami körülbelül százezer fényév átmérőjű, és tőlünk kilencszázezer fényévnyire van. A világegyetem nagyobb – sokkal nagyobb –, mint bárki gondolta volna. 1925-ben megjelent Hubble nagy fontosságú cikke, a Cepheids in Spiral Nebulae (Cefeidák spirális ködökben – ez a szó nála nem csillagködöt jelentett, hanem galaxist), amelyből kiderül, hogy a világegyetemben a Tejútrendszeren kívül sok független galaxis – „sziget-világegyetem" – van, amelyek a Tejútrendszernél nagyobbak is lehetnek, és tőlünk nagyon távol vannak.

Ez az eredmény önmagában is elég lett volna Hubble tudományos hírnevéhez, de nem állt meg itt. Azt próbálta kiszámítani, vajon mekkora a világegyetem, és még meglepőbb felfedezést tett. Elkezdte vizsgálni a távoli galaxisok színképét, ahogyan azt Slipher is megtette Arizonában. A Mount Wilson Csillagvizsgáló új 254 centiméteres Hooker-távcsöve és néhány ügyesen levont következtetés segítségével nem sokkal 1930 után már tudta, hogy az égbolton látható összes galaxis (a saját galaxishalmazunkban találhatókat kivéve) távolodik tőlünk. Sebességük és távolságuk pedig egyenesen arányos; minél távolabbi a galaxis, annál gyorsabban távolodik.

Ez meglepő felfedezés volt. A világegyetem ezek szerint tágul, méghozzá minden irányban egyformán, és meglehetősen gyorsan. Nem kellett hozzá sok képzelőerő, hogy visszafelé kezdjenek következtetni, és rájöjjenek, hogy ezek szerint az egész egy középpontból kezdődött. A világegyetem tehát nem az a stabil, állandó, végtelen űr, ahogyan azt mindenki képzelte, hanem egy kezdettel jellemezhető folyamat. Ezek szerint viszont lehet vége is.

Stephen Hawking szerint az a csoda, hogy ezt megelőzően senki nem gondolt a világegyetem tágulására. Newton és minden gondolkodó csillagász számára világos kellett volna hogy legyen, hogy egy statikus világegyetem összeomlana. Ott volt az a kérdés is, hogy ha a csillagok örökké égnének egy statikus világegyetemben, akkor az előbb-utóbb rettenetesen felforrósodna – számunkra legalábbis lakhatatlan világ lenne. A táguló világegyetem egy csapásra választ adott ezekre a problémákra.

Hubble sokkal jobb megfigyelő volt, mint amilyen gondolkodó, és nem látta át azonnal felfedezésének minden következményét. Ez részben azért volt, mert sajnos nem ismerte Einstein általános relativitáselméletét. Elég különös, hiszen egyrészt Einstein addigra már világhírű volt, másrészt az idősödő, de még mindig a világ legmegbecsültebb tudósai közé tartozó Albert Michelson 1929-től szintén a

Mount Wilsonon dolgozott; itt próbálta megmérni a fény sebességét kipróbált interferométerével, és nehéz elképzelni, hogy még csak nem is említette, hogy Einstein eredményeit érdemes lenne figyelembe venni kutatásai során.

Bármilyen okból történt is, Hubble elmulasztotta azt a bizonyos „még meleg vasat” ütni, amikor lehetett volna. A munka tehát egy belga pap tudósra maradt, aki egyébként az MIT-n diplomázott. Georges Lemaître-nek kellett összehoznia a két eredményt saját „tűzijáték-elméletében”, amely szerint a világegyetem geometriai pontként, egy ősatomból kezdődött, ami felrobbant, és azóta is tágul. A gondolat nem áll messze a modern ősrobbanás-elmélettől, de saját idejében még túl korainak bizonyult; ez abból is látszik, hogy a témában Lemaître-re soha nem vesztegetnek egy-két mondatnál többet. További évtizedeknek kellett elmúlniuk, és Penziasnak és Wilsonnak fel kellett véletlenül fedezniük a kozmikus háttérsugárzást a New Jersey-i antenna szerelésekor, hogy az ősrobbanás egzotikus ötletből tudományos elméletté váljon.

És ebben már sem Einsteinnek, sem Hubble-nek nem lehetett szerepe.

1936-ban Hubble írt egy nagyon sikeres könyvet *The Realm of the Nebulae (A ködök birodalma)* címmel, amelyben behízelgő modorát nem nagyon vesztegeti másra, saját nem elhanyagolható érdemein kívül. Ebben legalább felfedezhetjük annak nyomait, hogy mégiscsak ismerhette Einstein elméletét – legalábbis egy pontig: a kétszáz oldalból körülbelül négy foglalkozik a témával.

Hubble 1953-ban halt meg, szívrohamban. És ekkor még egy kis furcsaság történt vele. Ki tudja, miért, a felesége nem volt hajlandó eltemettetni, és soha nem árulta el, mit tett férje testével. Most, fél évszázaddal később még mindig nem tudjuk, hol nyugszik a század legnagyobb csillagásza. Ha az emlékművét keressük, nézzünk fel az 1990 óta a Föld körül keringő Hubble-űrtávcsőre.

9.
A HATALMAS ATOM

Amíg Einstein és Hubble szépen haladtak a kozmosz nagyléptékű szerkezetének megfejtésében, mások megfoghatóbb, de bizonyos értelemben ugyanannyira távoli dolog megértésével bajlódtak: a parányi, titokzatos atom rejtélyével.

Richard Feynman, a Caltech nagy fizikusa egyszer azt mondta, hogy ha az egész természettudomány lényegét egyetlen mondatba kellene sűríteni, az így hangzana: „Minden atomokból van.” Mindenütt jelen vannak, minden belőlük készült. Ha az olvasó körülnéz, nem lát mást, mint atomtömegeket. És nemcsak a szilárd tárgyakra, falakra, asztalokra, karosszékekre gondolok, hanem az olvasó és a berendezés között lévő levegőre is. Annyi atom vesz körül minket, amekkora számot fel sem tudunk fogni.

Az atomok általában molekulákat alkotnak (ez a szó a latin „kis tömeg” megfelelője). A molekula két vagy több atom, amelyek együttműködnek egy többé-kevésbé tartós kapcsolatban; ha két hidrogénatomhoz hozzáadunk egy oxigénatomot, kapunk egy vízmolekulát. A vegyészek inkább molekulákban gondolkodnak, mint elemekben, hasonlóan az írókhoz, aki szavakban gondolkodnak, nem betűkben. A molekulákat számolják tehát, és ezek bizony jó sokan vannak. A tenger szintjén, 0 ° C hőmérsékletnél egy köbcentiméter, tehát egy nagyobb kockacukornyi levegőben 45 milliárd milliárd molekula van. És gondoljunk bele, hány köbcentiméter levegő vesz körül minket, vagy hány kockacukorral lehetne kitölteni a világnak azt a kis részét, amelyet az ablakunkból látunk. Utána kapaszkodjunk meg, és próbáljuk meg elképzelni, hány kockacukor töltené ki az egész világegyetemet. Az atomok tehát nagyon sokan vannak.

Másik fontos tulajdonságuk, hogy nagyon tartósak. És mivel nagyon hosszú életűek, előbb-utóbb mindenhová eljutnak. Minden atom, amely az olvasót felépíti, valamikor már több csillagnak is a része volt, és több millió élő szervezeté is. Olyan sok atomból állunk, és ezek sorsa halálunk után olyan különböző, hogy atomjaink közül körülbelül egymilliárdnak jó esélye van arra, hogy előzőleg valamikor Shakespeare teste felépítésében működtek közre. További egy-egy milliárdra számíthatunk Buddhából, Dzsingisz kánból és Beethovenből, vagy bárki másból, aki előttünk legalább egy-két évszázaddal élt. Mivel az atomoknak kell néhány évtized, mire alaposan elkeverednek a világban, ne is számítsunk rá, hogy egyhamar eljut hozzánk egy csipet Elvis Presley.

Ebben az értelemben mindannyian reinkarnációk vagyunk, de sajnos nem sokáig. Halálunkkor atomjaink elválnak egymástól, és máshol keresnek maguknak feladatot – lehet, hogy helyüket egy levélben találják meg, lehet, hogy egy másik emberben, és lehet, hogy egy harmatcseppben. Maguk az atomok viszont gyakorlatilag örök életűek. Senki nem tudja pontosan, hogy meddig maradnak fenn, de Martin Rees szerint körülbelül 10^{35} évig – ez egy akkora szám, hogy magam is legszívesebben így, a tíz hatványaként írom csak le.

Az atomok ugyanakkor végtelenül kicsik. Ha félmillió atomot egymás mellé sorakoztatnánk, még mindig elférnének egy hajszálunk mögött – keresztben. Egyetlen atomot pedig szinte lehetetlen elképzelni, de persze megpróbálhatjuk.

Kezdjük egy milliméterrel, ami egy ekkora vonal: –. Képzeljük el, hogy ezt ezer egyenlő hosszú részre osztjuk. Egy ilyen rész egy mikron, hivatalosabban mikrométer. Ez a mikroorganizmusok mér-

tékegysége. Egy papucsállatka (édesvízi egysejtű) például körülbelül 2 mikron, azaz 0,002 mm méretű. Ha szabad szemmel szeretnénk megfigyelni egy csepp vízben úszó papucsállatkát, a vízcseppet körülbelül 12 m-esre kellene nagyítanunk. Ha viszont ugyanebben a vízcseppben az egyes atomokat is látni szeretnénk, akkor ez nem elég; 12 km-esre kellene nagyítani.

Az atomok tehát teljesen más nagyságrendben léteznek. A fent említett vonalezredrészeket – mikronokat – további tízezer darabra osztva eljutunk ehhez a nagyságrendhez. Tehát egy atom mérete körülbelül a milliméter egy tízmilliomod része. Ezt a méretet el sem tudjuk képzelni; egy atom akkora az egy milliméteres vonalhoz képest, mint egy papírlap vastagsága az Empire State Building magasságához képest.

Az atomok azért hasznosak, mert rengeteg van belőlük, és roppant sokáig élnek, méretük kicsisége miatt viszont nehéz észlelni és megismerni őket. Az, hogy az atomokat ez a három fő tulajdonság (kis méretük, nagy számuk és elpusztíthatatlanságuk) jellemzi, és hogy minden atomokból van, először nem Antoine-Laurent Lavoisier-nek jutott eszébe, de még csak nem is Henry Cavendishnek vagy Humphry Davynek, hanem egy cingár, meglehetősen iskolázatlan angol kvékernek, John Daltonnak, akivel először a 7. fejezetben találkoztunk.

Dalton 1766-ban született az angol tóvidék szélén, Cockermouth környékén egy szegény kvéker takács családjában. (Négy évvel később a költő William Wordsworth szintén itt látta meg a napvilágot.) Dalton különlegesen jó képességű diák volt – valószínűtlenül fiatalon, tizenkét éves korában már ő vezette a helyi kvéker iskolát. Ez a tény persze lehet, hogy nemcsak Dalton koraérettségéről tanúskodik, hanem az iskola színvonaláról is, de Dalton naplójából kiderül, hogy ebben az időben már olvasta Newton *Principiáját* (eredetiben, tehát latinul) és más nehezen emészthető műveket is. Tizenöt évesen, még mindig iskolaigazgatóként munkát vállalt a közeli Kendal városban, és további tíz évvel később Manchesterbe költözött, ahonnan élete maradék ötven évében alig-alig mozdult ki. Manchesterben Dalton intellektuális forgószélként rengeteg könyvet és kisebb terjedelmű munkát írt mindenféle tárgyról a meteorológiától a nyelvtanig. A színtévesztést sokáig daltonizmusnak nevezték, mert ő is ebben a betegségben szenvedett, és sokat írt róla. Hírnevét azonban 1808-ban megjelent *A New System of Chemical Philo-sophy (A kémia új rendszere)* című vaskos könyvének köszönheti.

Ebben van egy rövid, mindössze ötoldalas (a könyv több mint kilencszáz oldalt tesz ki) fejezet, ahol a feltehetően tanult olvasók először találkozhattak egy olyan atomfogalommal, amely megközelíti mai felfogásunkat. Dalton egyszerű meglátása az volt, hogy minden anyag legmélyén végtelenül kicsi, oszthatatlan részecskék vannak. „Egy hidrogénrészecskét teremteni vagy elpusztítani olyan próbálkozás, mintha egy új bolygót kívánnánk bevinni a Naprendszerbe, vagy megsemmisíteni egy már létezőt”[32] – írja.

Az atomok gondolata és neve is előfordult már a természettudományok történetében, méghozzá az ókori görögöknél. Dalton annyiban lépett tovább, hogy elgondolkodott az atomok viszonylagos méretén, tulajdonságain, és azon, hogyan viselkednek egymással szemben. Tudta például, hogy a hidrogén a legkönnyebb elem, ezért ennek az atomtömege lett 1. Úgy vélte, a víz hét rész oxigénből és egy rész hidrogénből áll, ezért az oxigén atomtömegét 7-ben jelölte meg. Így haladt tovább, és megállapította az összes ismert elem atomtömegét. Nem mindig sikerült teljes pontosságot elérnie; az oxigén atomtömege például 16, és nem 7, de az alapelv jó volt, és megalapozta a modern vegytant és sok más tudományt is.

A könyv Daltont híressé tette, jóllehet csak annyira amennyire ez egy visszafogott angol kvéker esetében lehetséges. 1826-ban P. J. Pelletier francia vegyész Manchesterbe utazott, hogy találkozzon az

atomok hősével. Azt várta, hogy Daltont valamelyik tekintélyes intézményben fogja megtalálni, és csodálkozva látta, hogy a zseni egy külvárosi elemi iskolában számtant tanít a kisdiákoknak. E. J. Holmyard tudománytörténész szerint Pelletier zavarba jött, amikor végre találkozott a Nagy Férfiúval, és így szólt:

– Est-ce que j'ai l'honneur de m'addresser á Monsieur Dalton? – mert nem hitt a szemének, hogy valóban az európai hírű vegyészt látja egy fiúnak az osztást tanítani. – Igen – válaszolt a tárgyilagos kvéker – megtenné, hogy egy kicsit leül, amíg a fiúnak elmagyarázom a leckét?

Bár Dalton igyekezett elkerülni bármiféle kitüntetést, kívánsága ellenére beválasztották a Királyi Társaságba, elhalmozták érdemérmekkel, és csinos összegű állami nyugdíjat kapott. 1844-ben bekövetkezett halála után koporsóját negyvenezer ember kísérte; a gyászmenet három kilométeres volt. Az angol Nemzeti életrajzi lexikonban az övé az egyik leghosszabb szócikk; a XIX. század tudósai közül csak Darwinról és Lyell-ről írnak többet.

Dalton gondolata egy egész évszázadon keresztül elméleti feltételezés maradt, és kiváló tudósok is, például a bécsi Ernst Mach, akiről a hangsebességgel kapcsolatos Mach-számot elnevezték, kételkedett az atomok létezésében. Ezt írta: „Az atomok nem érzékelhetők... csak gondolati dolgok." Az atomok létezését különösen a németül beszélő világ fogadta olyan kételkedve, hogy azt mondják, lehet, hogy ez volt a nagy elméleti fizikus és atomelmélet-hívő, Ludwig Boltzmann 1906-ban bekövetkezett öngyilkosságának egyik oka.

Az atomok létezését Einstein bizonyította elsőként megcáfolhatatlanul 1905-ös, a Brown-mozgásról szóló cikkében, amelynek azonban csekély hatása volt, Einsteint pedig hamarosan az általános relativitáselmélet kezdte foglalkoztatni. Így az atomkor első igazi hőse Ernest Rutherford lett, bár, mint láttuk, nem ő ért célba először.

Rutherford 1871-ben született az Új-Zéland belsejében fekvő Nelsonban. Szülei skót bevándorlók voltak. Lent termesztettek és sok gyereket neveltek. Ennek a távoli országnak ebben az eldugott sarkában Ernest már nem is lehetett volna távolabb a tudomány főáramlatától, de 1895-ben ösztöndíjat nyert a Cambridge Egyetem Cavendish Laboratóriumába, ami akkor a legjobb hely volt a világon, ha valaki fizikával akart foglalkozni.

A fizikusok hírhedten gúnyosan tudnak bánni a más területet tanulmányozó tudósokkal. Amikor a nagy osztrák fizikust, Wolfgang Paulit felesége elhagyta egy vegyész kedvéért, a fizikus egyszerűen nem akarta tudomásul venni a szomorú tényeket. Így panaszkodott egy barátjának: – Ha egy matadort választott volna helyettem, azt érteném. De egy vegyészt...

Rutherford megértette volna érzéseit. Egyszer ezt mondta: – Csak kétféle tudományt ismerek: a fizikát és a bélyeggyűjtést. Gyakran idézik ezt a mondatot. A sors iróniája, hogy Nobel-díját 1908-ban mégsem fizikai, hanem kémiai munkásságával érdemelte ki.

Rutherford szerencsés ember volt – egyrészt lángésznek született, de még nagyobb szerencse, hogy olyankor, amikor a fizikában és a kémiában még annyi felfedeznivaló volt, és – személyes érzései ellenére – a két tudomány szorosan egymásra volt utalva; ez volt az egyetlen időszak, amikor ilyen nagy átfedés volt közöttük.

Bár Rutherford kétségkívül rendkívüli eredményeket ért el, nem volt kiemelkedően okos, matematikai képességei pedig kifejezetten rosszak voltak. Előadás közben gyakran úgy elveszett saját egyenletei között, hogy a felénél abbahagyta a levezetést, és felszólította a diákokat, hogy otthon fejezzék be

egyedül. James Chadwick, a neutron felfedezője és Rutherford kollégája szerint még csak nem is volt ügyes kísérletező. Sikereit egyszerűen állhatatosságának és elfogulatlanságának köszönhette. Eszköztárában az okosság helyett tisztánlátás és egyfajta merészség szerepelt. Elméje, egyik életrajzírója szerint, „mindig kifelé tekintett, a határok felé, ameddig csak ellátott, márpedig jóval tovább látott másoknál". Ha megoldhatatlan problémába ütközött, mindig készen állt azzal többet és alaposabban foglalkozni másoknál, és nyitottabb volt a szokatlan megoldásokra. Legnagyobb áttörését annak köszönheti, hogy képes volt rémségesen unalmas órákat tölteni egy képernyő előtt, és alfarészecske-felvillanásokat számolni – az efféle munkát általában inkább az asszisztensek végezték. Ő volt az egyik első, ha nem a legelső ember, aki felfedezte, hogy ha munkába lehetne fogni az atomban rejlő energiát, olyan bombát lehetne gyártani, ami „füstté változtatná a világot".

Nagydarab ember volt, öblös hangú; a szelídebbek félrehúzódtak előle. Egyszer, amikor egy kollégája meghallotta, hogy Rutherford az Atlanti-óceán másik partján fog szerepelni egy rádióadásban, szárazon megjegyezte: – Minek neki rádió?

Kedélyesen magabiztos volt. Amikor valaki azt mondta neki, hogy úgy veszi észre, Rutherford mindig hullámhegyen van, soha nem hullámvölgyben, így válaszolt: – Nos, végül is én hoztam létre a hullámot, igaz?

C. P. Snow elbeszélése szerint egy cambridge-i szabónál hallotta, hogy Rutherford ezt mondja: – Derékbőségem egyre nő, még szerencse, hogy az észjárásom is.

1895-ben, amikor felbukkant a Cavendish Laboratóriumban[33], még sem a derékbősége, sem a hírneve nem volt figyelemre méltó. A természettudomány különlegesen eseménydús éveit élte. A németországi Würzburgi Egyetemen ugyanabban az évben, amikor Rutherford Cambridge-be érkezett, Wilhelm Röntgen felfedezte az akkor még X-sugárnak nevezett jelenséget. A következő évben Henri Becquerel felfedezte a radioaktivitást. És a Cavendish Laboratóriumra is fényes évek következtek. 1897-ben J. J. Thomson és munkatársai itt fedezik fel az elektront, 1911-ben C. T. R. Wilson itt létesíti az első részecskedetektort (erről még lesz szó), 1932-ben pedig James Chadwick itt fedezi fel a neutront. Ha még távolabbra nézünk, 1953-ban James Watson és Francis Crick a DNS szerkezetét szintén a Cavendish Laboratóriumban derítette fel.

Rutherford először rádióhullámokkal dolgozott, és valami eredményt el is ért – jól kivehető jelet tudott küldeni másfél kilométer távolságba, ami akkoriban színvonalas teljesítménynek számított – de feladta, amikor egy régebben ott dolgozó kollégája meggyőzte arról, hogy a rádiónak nincsen nagy jövője. Háromévi eredménytelenség után otthagyta a laboratóriumot, és elment a montreali McGill Egyetemre; itt kezdődött fényes pályája. Mire Nobel-díjat kapott (a hivatalos indoklás szerint „az elemek bomlásának és a radioaktív anyagok vegytanának kutatásáért"), már a Manchesteri Egyetemen dolgozott, és itt végezte legfontosabb kutatásait az atomok felépítésével és természetével kapcsolatban.

A XX. század elejére már tudták, hogy az atom több részből áll – Thomson felfedezte az elektron létezését –, de nem tudták, hány részből, és azok hogyan illeszkednek egymáshoz és milyen alakúak. Egyes fizikusok úgy vélték, az atomok kocka alakúak, mert akkor helyveszteség nélkül, szépen egymás mellé lehetne helyezni őket. Ennél sokkal általánosabb volt az a nézet, hogy az atom inkább olyan, mint egy cseresznye: egy sűrű, kemény, pozitív töltésű tárgy (a cseresznyemag), körülvéve negatív töltésű elektronokkal (ezek lennének a cseresznye húsában lévő kukacok).

1910-ben Rutherford (Hans Geiger[34] nevű diákjával, aki később feltalálja majd a róla elnevezett sugárzásmérőt) ionizált héliumatommagokat, vagyis alfa-részecskéket lőtt egy aranyfóliára. Ruther-

ford csodálkozva vette észre, hogy a részecskék közül egyesek visszapattannak. Olyan volt, mintha egy negyven centiméteres robbanó lövedék visszapattanna egy papírlapról. A jelenségre nem volt magyarázat. Sokat gondolkodott, amíg rá nem jött az egyetlen lehetséges megoldásra: a visszapattanó részecskék valami kicsi, sűrű dolognak ütköznek az atom belsejében, a többiek viszont zavartalanul átjutnak. Rutherford rájött, hogy egy atom legnagyobbrészt ürességből áll, a közepén egy nagyon sűrű atommaggal. Ez nagyon kielégítő magyarázat volt, de rögtön adódott egy újabb probléma: az eddig ismert fizikai törvények szerint nem létezhetnének atomok.

Álljunk meg itt egy pillanatra, és gondoljuk végig, milyennek ismerjük ma az atom szerkezetét. Minden atom háromféle elemi részecskéből áll: pozitív töltésű protonokból, negatív töltésű elektronokból és töltés szempontjából semleges neutronokból. A proton és a neutron az atommagban helyezkedik el, az elektronok körülöttük keringenek. Az atom legfontosabb tulajdonsága a benne lévő protonok száma. Az egyprotonos atom a hidrogén, a kétprotonos a hélium, a háromprotonos a lítium és így tovább. (Mivel az atomokban mindig ugyanannyi elektron van, mint ahány proton, néhány helyen azt olvashatjuk, hogy az elektronok száma határozza meg az elemet, de mint látjuk, ez ugyanazt jelenti. Nekem úgy magyarázták, hogy a protonok száma azonosítja az atomot, az elektronok száma pedig meghatározza a tulajdonságait.)

A neutronok száma nincs hatással az atomok fajtájára, de az atom tömege ettől függ. Az atomokban körülbelül ugyanannyi neutron van, mint ahány proton. Ha az atomhoz egy-két neutront adunk, vagy egyet-kettőt elveszünk belőle, ugyanannak az elemnek az izotópját kapjuk. A régészeti kormeghatározásban használt kifejezések mindig izotópokat jelentenek, például a „szén-14” jelentése egy szénatom hat protonnal és nyolc neutronnal (a tizennégy a kettő összege).

A neutronok és a protonok alkotják az atommagot. Az atommag kicsi, az atom térfogata milliárdod részének mindössze egymilliomod része, de hihetetlenül nagy sűrűségű, hiszen itt összpontosul az atom majdnem teljes tömege. Cropper ezt a következő hasonlattal világította meg: ha egy atomot székesegyház méretűre nagyítanánk, az atommag akkora lenne, mint egy légy, viszont a légy sok ezerszer nehezebb lenne, mint az egész épület. Ez a viszonylagos hatalmasság, ez a nem várt, szinte visszhangzó üresség ejtette zavarba Rutherfordot 1910-ben.

És valóban elég meglepő, hogy az atomok legnagyobb része üres; akkor hogyan lehet, hogy a körülöttünk lévő világot mégis szilárdnak érzékeljük? Ha két test ütközik a világunkban (legtöbbször a biliárdgolyókat hozzák fel erre példaként), akkor tulajdonképpen nem is csattannak össze. Timothy Ferris magyarázata szerint „inkább arról van szó, hogy a két golyó negatív töltésű mezői taszítják egymást... ha nem lenne elektromos töltésük, akkor akár át is hatolhatnának egymáson, mint két galaxis”. Amikor az olvasó egy széken ül, akkor valójában nem ül ott, hanem körülbelül egy ångström (a centiméter százmilliomod része) magasságban lebeg, mert az olvasó elektronjai és a szék elektronjai taszítják egymást.

Az emberekben általában az az atomkép él, hogy egy-két elektron kering az atommag körül, mint a bolygók egy csillag körül. Ez a kép 1904-ből származik, és inkább okos ráérzésből, mint tudásból. Hantaro Nagaoka japán fizikus képzelte ilyennek az atomot. Azóta kiderült, hogy tévedett, de a kép fennmaradt. Isaac Asimov szerette emlegetni, hogy tudományos-fantasztikus írók egész nemzedékeit ihlette „világok a világokban” típusú történetekre, amelyekben az icipici lakott naprendszerekről egyszer csak kiderül, hogy valójában egy sokkal nagyobb rendszer apró részei. A CERN (Centre Europé-

en pour la Recherche Nucléaire, a részecskefizikai kutatások európai szervezete) honlapján a szervezet logója is még mindig a Nagaoka-féle atomelképzelést tükrözi vissza. A fizikusok azonban hamarosan rájöttek, hogy az elektronok egyáltalán nem hasonlítanak keringő bolygókhoz, hanem inkább egy gyorsan forgó ventilátor karjaihoz; keringésük során egyszerre próbálják betölteni a rendelkezésre álló hely minden pontját (azzal a különbséggel, hogy a ventilátor karja úgy látszik, mintha egyszerre mindenütt lenne, az elektronok viszont valóban egyszerre mindenhol vannak).

Mondanunk sem kell, hogy 1910-ben és a következő években erről még semmit nem tudtak. Rutherford eredménye nagy és azonnal megoldandó problémákat hozott a felszínre, például azt, hogy hogyan lehetséges, hogy az elektronok ütközés nélkül keringenek az atommag körül. A hagyományos elektrodinamika elmélete szerint a repülő elektron energiája hamar – egy-két pillanat alatt – el kell hogy fogyjon, és ekkor belerepül az atommagba, ami nem tesz jót egyiküknek sem. Az is gond volt, hogy a pozitív töltésű protonok hogyan tudnak együtt maradni az atommagban, miért nem robban az atommag (és az egész atom) fel. A nagyon apró méretek világában végbemenő folyamatokra tehát nem alkalmazhatók az általunk ismert makrovilág törvényei.

Amikor a fizikusok egyre mélyebbre hatoltak az atom belsejébe, rájöttek, hogy az nemcsak teljesen másmilyen, mint az eddig tapasztalt jelenségek, de eltér még a legélénkebb fantáziájú írók elképzeléseitől is. Richard Feynman ezt így fogalmazta: „Az atomok viselkedése annyira eltér attól, amit mindennapi világunkban tapasztalunk, hogy nehéz megszokni; sajátságos és titokzatos világ ez az érdeklődőnek ugyanúgy, mint a tapasztalt fizikusnak.” Ezt a kijelentést ő akkor tette, amikor a fizikának már volt fél évszázada, hogy megszokja az új szemléletet. Képzelhetjük tehát, hogyan érezhetett Rutherford és összes kollégája az 1910-es évek elején, amikor mindez még újdonság volt.

Rutherford egyik munkatársa egy szelíd, barátságos dán fiatalember, Niels Bohr volt. 1913-ban olyan izgalmas ötlete támadt az atom szerkezetével kapcsolatban, hogy nászútját elhalasztva megírta korszakalkotó tanulmányát.

Mivel a fizikusok nem látták az atomot, szerkezetére abból próbáltak következtetni, hogy hogyan viselkedik, amikor beleavatkoznak az életébe; Rutherford is ezt tette, amikor alfa-részecskéket lőtt a fóliára. Néha, nem meglepő módon, a kísérletek zavarba ejtő eredménnyel zárultak. Az egyik ilyen jelenség, a hidrogén színképvonalainak hullámhossza már régóta magyarázatra várt. Azt találták ugyanis, hogy a hidrogénatomok csak bizonyos hullámhosszakon bocsátanak ki energiát. Olyan volt, mintha valakit megfigyelés alatt tartanának, de az illető mindig csak bizonyos helyeken bukkanna fel, a közöttük levő utakon soha. Senki nem értette, ez hogyan lehetséges.

Bohr éppen ezen gondolkodott, amikor ragyogó ötlete támadt, amiből azután híres dolgozata, *Az atomok és molekulák szerkezetéről* (On the Constitutions of Atoms and Molecules) megszületett. Ebben azt mondja, hogy az elektronok azért nem hullnak bele az atommagba, mert csak néhányféle pályát foglalhatnak el. Az új elmélet szerint, amikor egy elektron az egyik pályáról átmegy egy másikra, akkor közben egy pillanatig sem tartózkodik a kettő közötti területen. Ez a gondolat, a kvantumátmenet vagy kvantumugrás persze teljesen természetellenesen hangzik, de túl jó ahhoz, hogy ne legyen igaz. Ennek alapján az elektronok nemcsak nem hullnak bele az atommagba, de megmagyarázhatók a hidrogén furcsa hullámhosszai is. Az elektronok tehát azért tűntek fel csak egyes pályákon, mert másokon nem is léteztek. Különleges felfedezés volt, és Bohr 1922-ben, Einstein után egy évvel fizikai Nobeldíjat kapott érte.

Közben a fáradhatatlan Rutherford lett a cambridge-i Cavendish Laboratórium vezetője J. J. Thomson utódjaként. Olyan modellt alkotott, amely alapján érthetővé vált, hogy az atommagok miért nem

robbannak fel. Rájött, hogy a pozitív töltésű protonok között valamiféle semlegesítő részecskéknek kell lenniük; ezeket nevezte el neutronoknak. Egyszerű, tetszetős elmélet volt, de hogyan bizonyítsa be? Rutherford munkatársa, James Chadwick tizenegy éven át szakadatlanul a neutront kereste, és végül, 1932-ben, meg is találta. Ő is fizikai Nobel-díjat kapott, 1935-ben. Boorse és társai tudománytörténeti munkája szerint nagy szerencse, hogy ez a felfedezés ennyit késett, mert a neutron ismerete nélkül nem lehetett atombombát készíteni. (Mivel a neutronoknak nincsen töltése, nem taszítja őket az atomok közepében lévő elektromos mező, ezért apró torpedókként bele lehet őket lőni egy atommagba, és ezzel elindul a maghasadás romboló folyamata.) Ha a neutront már az 1920-as években felfedezik, akkor „nagyon valószínű, hogy az első atombomba Európában készül el, és biztos, hogy a németek gyártanák”.

Az európaiaknak azonban más gondjuk volt: megpróbálták megérteni az elektronok furcsa viselkedését. A fő probléma az volt, hogy az elektronok viselkedése néha a részecskékére, néha a hullámokéra emlékeztetett. Ez a lehetetlen kettősség szinte megőrjítette a fizikusokat. A következő évtizedet Európa egész fizikustársadalma dühödt töprengéssel és elméletgyártással töltötte. Franciaországban Louis-Victor, Broglie hercege, egy főúri család leszármazottja rájött, hogy az elektronok egyes viselkedési furcsaságai eltűnnek, ha hullámnak tekintjük őket. A megfigyelés megragadta az osztrák Erwin Schrödinger figyelmét, aki gyorsan finomított az új elképzelésen, és kitalált egy hasznos rendszert, a hullámmechanikát. Ezzel majdnem egy időben a német Werner Heisenberg egy másik elmélettel állt elő, a mátrixmechanikával. Ez matematikai szempontból annyira bonyolult volt, hogy szinte senki nem értette, állítólag még Heisenberg sem. – Hiszen még azt sem tudom, mi az a mátrix – fakadt ki egyszer, de az ő feltevése megoldott olyan problémákat is, amelyeket Schrödinger elmélete nem.

A végeredmény: a fizikában két, egymásnak ellentmondó premisszákon alapuló elmélet született, amelyek eredménye azonban megegyezett. Azaz bekövetkezett a lehetetlen.

Végül, 1926-ban Heisenbergnek sikerült a kettőt összeegyeztetnie, és létrehozott egy új tudományágat, a kvantummechanikát. A kvantummechanika középpontjában Heisenberg bizonytalansági elve áll, amely szerint az elektron részecske, de olyan, amelyről úgy beszélhetünk, mintha hullám lenne. A határozatlansági elv miatt ismerhetjük az elektron pályáját, vagy azt, hogy egy adott pillanatban éppen hol van, de a kettőt egyszerre sohasem.[35] Az egyik mérése ugyanis elkerülhetetlenül befolyásolja a másik adatot. És nem csak arról van szó, hogy nem állnak rendelkezésre megfelelően pontos eszközök; a határozatlansági elv a világegyetem megváltozhatatlan sajátossága.

A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy egyetlen adott pillanatban sem tudhatjuk egy elektron pontos helyét. Csak arról beszélhetünk, mennyi a valószínűsége, hogy éppen ott legyen. Dennis Overbye ezt úgy fejezte ki, hogy az elektron bizonyos értelemben csak akkor létezik, amikor éppen észlelik. Kicsit máshogyan fogalmazva, amikor az elektront éppen senki nem észleli, az „egyszerre van mindenütt és sehol”.

Ha ez egy kicsit zavarosnak tűnik, meg tudom nyugtatni az olvasót: a fizikusok is állandóan belezavarodtak. Overbye szerint: „Bohr egyszer azt mondta, hogy aki nem dühödik fel, amikor először hall a kvantumelméletről, az nem értette meg, amit mondtak neki.” Amikor megkérdezték Heisenberget, hogyan lehet egy atomot elképzelni, a válasz egyszerűen ennyi volt: – Meg se próbáld!

Tehát az atom nem olyan, amilyennek korábban elképzelték. Az elektron nem kering bolygóként az atommag körül, hanem inkább olyan, mint egy alaktalan felhő. Az atom „héja” nem valamiféle szilárd, fényes burok, ahogyan azt néha ábrázolják, hanem egyszerűen az elektronfelhők külseje. Maga a felhő egy statisztikai valószínűségi zóna, amelyen kívül az elektron nagyon ritkán kerül. Így egy atom in-

kább egy nagyon bolyhos teniszlabdához hasonlít, mint egy vasgolyóhoz (de valójában egyikhez sem hasonlít, sőt semmi máshoz sem, amit az olvasó valaha láthatott, hiszen itt most egy olyan világról beszélünk, amely nagyon különbözik a miénktől).

Úgy tűnt, hogy egyre újabb furcsa dolgok bukkannak fel. A tudósok a tudomány történetében először „a világegyetem olyan területével találkoztak, amelynek megértéséhez az emberi agy alkalmatlan" (James Trefil megjegyzése). Feynman szerint „a dolgok kicsiben egyáltalán nem úgy működnek, mint nagyban". Minél többet tudtak a fizikusok az atomokról, annál inkább rá kellett jönniük, hogy egy olyan világot találtak, ahol nemcsak az a különös, hogy az elektronok egyik pályáról a másikra ugorhatnak anélkül, hogy közben átutaznának a kettő közötti területen, hanem az is, hogy egyszer csak anyag keletkezhet ott, ahol egy pillanattal ezelőtt még semmi nem volt, ha utána elég gyorsan ismét eltűnik" (az MIT-n dolgozó Alan Lightman szavai).

A kvantum-valószínűtlenségek talán legérdekesebbikére Wolfgang Pauli jött rá 1925-ben. A Pauli-elv (más néven: kizárási elv) szerint egyes atomméret alatti részecske-párok tagjai „tudják", hogy a másikkal mi történik, még akkor is, ha eltávolodnak egymástól. A részecskék egyik tulajdonsága az úgynevezett perdület vagy spin. A kvantumelmélet szerint, amikor meghatározzuk egy részecske spinjét, a párja, bármilyen messze legyen is, ellenkező irányban, azonos sebességgel kezd el pörögni.

Olyan ez, írja Lawrence Joseph, több természettudományos könyv szerzője, mintha két egyforma biliárdgolyónk lenne, az egyik Ohióban, a másik a Fidzsi-szigeteken, és amikor az egyiket megpörgetjük, a másik ellenkező irányban, azonos sebességgel kezd el pörögni. A jelenséget 1997-ben bizonyították be, amikor a genfi egyetem fizikusai két fotont eltávolítottak egymástól kb. 20 kilométerre, és ha az egyik állapotába beavatkoztak, a másikkal is rögtön történt valami.

A dolgok annyira felpörögtek, hogy Bohr egy konferencián megjegyezte egy új elméletről, hogy nem az a kérdés, hogy az ötlet őrült-e, hanem hogy elég őrült-e. Hogy a kvantumvilág szabályai mennyire eltérnek a mindennapi életben tapasztaltaktól, Schrödinger egy híressé vált gondolatkísérlettel illusztrálta. Ebben egy feltételezett macskát egy feltételezett dobozba tettek, ahol volt még egy feltételezett radioaktív anyag egy atomja egy fiolányi hidrogén-cianiddal együtt. Ha a részecske egy órán belül lebomlik, egy szerkezet működésbe jön, eltöri a fiolát, a macska pedig elpusztul a mérges gáztól. Ha nem, a macska életben marad. Nem tudjuk, melyik eset fog bekövetkezni, tehát a macskát tudományos értelemben 100%-ban élőnek és 100%-ban kimúltnak kell tekintenünk. Ez viszont azt jelenti, írja Stephen Hawking – és meg tudom érteni, hogy miért hozza lázba ez a gondolat –, hogy hogyan is lehetne „előre jelezni a jövőbeli eseményeket, ha egyszer a világegyetem jelenlegi állapotát sem tudjuk pontosan felmérni!".

A kvantumelméletet, vagy legalábbis egyes megjelenési formáit sokan nem is szerették különös mivolta miatt. Jó példa erre Einstein. Ez több mint ironikus, mivel ő volt, aki az 1905-ös „csodaévben" megmagyarázta, hogyan lehetséges, hogy a fotonok néha részecske, néha hullám módjára viselkednek, és ez a gondolat már az új fizikához tartozott. „A kvantumelmélet nagyon is tiszteletre méltó", jegyezte meg udvariasan, de nem szerette. „Soha nem fogom elhinni, hogy Isten kockajátékot játszik velünk."[36]

Einstein nem tudta elviselni a gondolatot, hogy Isten egy nem teljesen megismerhető világegyetemet teremtett. A távolhatás – hogy egy részecske azonnal hasson egy tőle esetleg több milliárd kilométerre lévő másikra – a speciális relativitáselméletet durván sérti. Semmi nem haladhatja meg a fény sebességét, és ebben a fizikában valahogyan, atomméret alatti szinten – az információ mégis mintha végtelen sebességgel terjedne. (Egyébként még senki nem magyarázta meg a részecskéknek ezt a különleges

képességét. A tudósok a problémát úgy hidalják át, hogy – legalábbis Yakir Aharanov szerint – „nem gondolnak rá”.)

A kvantumfizika egy bizonyos fokú rendetlenséget jelentett, ami a fizikában eddig elképzelhetetlen volt. Hirtelen két külön szabályrendszer kellett a világegyetem egészének leírására – a kvantumelmélet a nagyon kicsi világához, a relativitáselmélet a minket körülvevő világegyetemhez. A relativitáselmélet szépen megmutatja, hogy a gravitáció hogyan hat a bolygókra, hogy azok a napjuk körül keringjenek, vagy hogy a galaxisok miért rendeződnek halmazokba, de részecske szinten használhatatlan volt. Az atomokat más erők tartják egyben, és az 1930-as években két ilyen erőt is felfedeztek: a gyenge és az erős kölcsönhatást. Az erős kölcsönhatás tartja össze az atomokat, emiatt maradnak meg a protonok az atommagban. A gyenge magerő több mindenért is felelős, de főleg egyes radioaktív bomlások sebességének szabályozásáért.

A gyenge kölcsönhatás nem is olyan gyenge; a gravitáció tízmilliárdszorosa milliárdszorosának a milliárdszorosa, az erős pedig ennél is sokszor hatalmasabb – hatásuk viszont csak nagyon kis távolságon belül érvényesül. Az erős kölcsönhatás hatósugara körülbelül egy atom átmérőjének a százezred része. Az atommag ezért olyan tömör és sűrű, és ezért lehetséges, hogy a nagy atommagú elemek instabilak; az erős kölcsönhatás nem tudja összetartani az összes protont.

A fizika tehát két részre vált: a nagyon kicsi és a nagyon nagy világára, amelyek egymástól a legtöbb dologban különböznek. Einsteinnek ez sem tetszett. Élete hátralevő részében egy nagy egyesített elméletet keresett, amely a két világot ismét összhangba hozná, de nem talált ilyet. Néha úgy gondolta, sikerülni fog, de sajnos nem járt sikerrel. Ahogy múlt az idő, egyre inkább a tudományos élet perifériájára került; már-már sajnálat tárgya lett. Snow azt írja, hogy szinte kivétel nélkül „minden munkatársa úgy gondolta, és ma is úgy gondolja, Einstein elvesztegette élete második felét”.

A fizika más területei azonban töretlenül fejlődtek. Az 1940-es évek végére az atomot már igen alaposan ismerték, és ezt sajnos meg is mutatták 1945 augusztusában, amikor két atombombát robbantottak Japán fölött.

Érthető, ha ekkor a fizikusok azt gondolták, már mindent tudnak az atomokról. Valójában a részecskefizika csak ekkor kezdett igazán bonyolulttá válni. De mielőtt folytatnánk ezt a kissé fárasztó történetet, ismét felveszünk egy másik szálat, és megnézzük, mi is történt közben a Föld korának meghatározása terén. Történetünkben szó lesz fösvénységről, fondorlatról, felemás tudományról, felesleges halálokról és fantasztikus sikerről.

10.
KI AZ ÓLOMMAL![37]

Az 1940-es évek végén a Chicagói Egyetem egy végzős hallgatója, Clair Patterson (aki neve ellenére egy iowai parasztfiú volt) új eljárást dolgozott ki az ólomizotópos mérési módszerre, mert remélte, ezzel végre meg lehet majd határozni a Föld korát. Sajnos az összes általa használt kőzetminta szennyezett volt, sőt általában nagyon szennyezett. A legtöbb körülbelül kétszázszor annyi ólmot tartalmazott, mint amennyit várt volna. Sok év kellett, mire Patterson rájött, hogy ennek sajnálatos okozója egy ohiói feltaláló, az ifjabb Thomas Midgley.

Midgley mérnöknek tanult, és talán ma biztonságosabb hely lenne a világ, ha az is maradt volna, de sajnos elkezdte érdekelni a vegytan ipari alkalmazása. 1921-ben az Ohio állambeli Daytonban, a General Motors Kísérleti Üzemében dolgozott, és egy ólom-tetraetil nevű vegyületet tanulmányozva rájött, hogy az jelentősen csökkenti a motor kopogását.

Bár a XX. század elején már tudták, hogy az ólom veszélyes anyag, mégis alkalmazták mindenféle használati tárgyban. Az ételkonzerveket például ólomforrasztással zárták le. A vizet is gyakran tárolták ólomborítású tartályban. A gyümölcsösökben ólom-arzenáttal permeteztek a férgek ellen. Még a fogkrém tubusában is volt ólom. Szinte nem is volt olyan termék, ami ne növelte volna használója testének ólomtartalmát. De sehol nem maradt meg olyan sokáig, mint a robbanómotorokban, ahol üzemanyag-adalékként használták.

Az ólom idegméreg. Ha egy szervezetbe túl sok jut be, visszafordíthatatlanul károsul az agy és a központi idegrendszer. Ennek tünete lehet vakság, álmatlanság, veseelégtelenség, halláskárosodás, de eredményezhet rákot, bénulást és görcsöket is. Legrosszabb esetben váratlan, szörnyű hallucinációkat okoz, ami megrémíti az áldozatot és a kívülállókat is, majd ezt követően beáll a kóma és végül a halál. Tehát az ólom káros.

Másrészt viszont könnyű ólmot előállítani és könnyű vele dolgozni, a gyártása pedig már-már zavarba ejtően kifizetődő – és az ólom-tetraetiltől a motor tényleg kevésbé fog kopogni. Így 1923-ban Amerika legnagyobb vállalatai közül három, a General Motors, a Du Pont és a New Jersey Standard Oil közös vállalatot alapított, amelyet Etilbenzin Vállalatnak (később már csak Etil Vállalatnak) neveztek el, hogy annyi ólom-tetraetilt gyártsanak, amennyit csak felvesz a piac, és hamarosan kiderült, hogy ez hatalmas mennyiség. Az adalékot etilnek hívták, mert barátságosabban hangzott, mint az ólom, amelynek mérgező hatásáról egyre többen tudtak. 1923. február l-jétől bárki vehetett „etil”-t.

Az ólomtetraetil-gyár munkásain szinte azonnal jelentkeztek az ólommérgezés korai jelei: a támolygó járás és a zavart viselkedés. Az Etil Vállalat szinte azonnal felvette azt a magatartást, amellyel még évtizedekig védte magát: higgadtan, kitartóan tagadták a felelősséget. Sharon Bertsch McGrayne a vegyipar történetéről szóló, *Promethans in the Lab* (Titánok a laborban) című izgalmas könyvében leírja, hogy amikor az egyik részlegben a munkások már állandóan hallucináltak, a gyár szóvivője udvariasan elmagyarázta az érdeklődő riportereknek, hogy „ezek az emberek valószínűleg a túl kemény munkába őrültek bele”. Összesen legalább tizenöt munkás halt meg az ólmozott üzemanyag gyártásának kezdeti szakaszában, és nem tudhatjuk, még hányan betegedtek meg, gyakran igen súlyosan. Azért nem ismerjük a pontos adatokat, mert a cég mindent elkövetett, hogy a szivárgásokról, véletlen kiömlésekről és mérgezésekről szóló kínos híreket eltussolja. Néha azonban erre nem volt mód – a legem-

lékezetesebb eset 1924-ben történt, amikor néhány napon belül öt munkás halt meg, és további harmincöt vált visszafordíthatatlanul támolygó ronccsá egy rosszul szellőztetett csarnokban.

Az új termék rossz híre egyre terjedt. Az „etil" lelkes feltalálója, Thomas Midgley ezért bemutatót tartott az újságíróknak, hátha el tudja oszlatni aggodalmaikat. Miközben arról tartott szívhez szóló előadást, hogy a cég mennyire elkötelezett a dolgozók biztonsága iránt, ólomtetraetilt öntött a kezére, majd egy ólomtetraetillel teli csőrös pohár fölé tartotta az orrát hatvan másodpercre, és megpróbálta meggyőzni a megjelenteket, hogy ezt akár mindennap megteheti, és semmi baja nem lesz tőle. Valójában tisztában volt az ólommérgezés veszélyével, hiszen ő maga is komolyan megbetegedett néhány hónappal azt megelőzően, és most már nagyon vigyázott, hogy az anyag a közelébe se kerüljön, kivéve, amikor újságírók járnak a gyárban.

Midgley nagyon elégedett volt az ólmozott üzemanyag sikerével, ezért figyelmét most kora más technológiai problémáira irányította. Az 1920-as évek hűtőszekrényei gyakran megdöbbentően veszélyesek voltak, mert alattomos és veszélyes gázokat használtak, amelyek néha kiszabadultak. 1929-ben egy clevelandi kórházban egy szivárgó hűtőszekrény több mint száz ember halálát okozta. Midgley olyan gázt keresett, amely stabil, nem gyúlékony és amelynek a belégzése ártalmatlan. Valószínűleg érzéke volt az ilyesmihez, mert végül ő fedezte fel a fluor-klór tartalmú, vagyis halogénezett szénhidrogéneket, azaz a CFC-gázokat.

Talán még soha nem volt ilyen gyors egy ipari termék sikertörténete, mint sajnálatosan a CFC-ké. Az 1930-as évek elejétől már gyártották, és ezerféle használati területen alkalmazták az autók klímaberendezésétől az aeroszolos dezodorokig. Csak fél évszázaddal később jöttek rá, hogy a CFC-gázok felfalják az ózont a sztratoszférában. És, mint látni fogjuk, ez nagy baj.

Az ózon az oxigén olyan alakja, amelynek minden molekulájában három oxigénatom van a szokásos kettő helyett. Egy kis kémiai különlegesség, hogy bár talajszinten szennyező anyag, a sztratoszférában nélkülözhetetlen, mert megvédi a Földet a veszélyes ultraibolya sugárzástól. Sajnos nincsen túl sok az ilyen „védő" ózonból. Ha a sztratoszférában egyenletesen oszlana el, akkor körülbelül 2 mm vastag réteget alkotna; ezért olyan könnyű károsítani.

Halogénezett szénhidrogénekből sincsen túl sok – körülbelül a légkör egymilliárdod részét teszik ki – de hatásuk mértéktelenül romboló. Egyetlen kilogramm CFC 70 000 kilogramm légköri ózont semmisít meg. A CFC-k nagyon lassan bomlanak le – átlagosan körülbelül száz év alatt – és ez alatt rettenetes károkat okoznak. És kiváló hőszigetelők Egyetlen CFC-molekula körülbelül tízezerszer jobban fokozza az üvegházhatást, mint egy szén-dioxid-molekula – és, mint tudjuk, a szén-dioxid is igen hatékony üvegházhatású gáz. Röviden szólva, lehet, hogy a halogénezett szénhidrogének előállítása a XX. század legkártékonyabb felfedezése volt.

Midgley ezt nem tudhatta, mert jóval azelőtt halt meg, hogy fény derült a CFC-k káros hatására. Halála felejthetetlenül különleges volt. A gyermekbénulás-járványban megbénult, ezért kifejlesztett egy motoros csigasorokból álló eszközt, amelynek segítségével fel tudott emelkedni, és meg tudott fordulni az ágyában. 1944-ben belegabalyodott a mozgásnak indult készülék vezetékeibe, és ezek megfojtották.

Ha az 1940-es években valakit a dolgok kora érdekelt, az jól tette, ha a Chicagó-i Egyetemen ke-

reste a választ. Willard Libby ekkoriban fedezte fel a radiokarbon-kormeghatározást, amelynek segítségével a tudósok végre meg tudták határozni a csontok és egyéb szerves maradványok korát. Egészen idáig a legrégebbi megbízható dátumok az I. Egyiptomi Birodalom korából származtak, körülbelül ötezer évvel ezelőttről. De azt például senki nem tudta biztosan megmondani, hogy az utolsó jégkorszaknak mikor lett vége, vagy hogy a crô-magnoni emberek mikor díszítették lascaux-i barlangjuk falát.

Libby ötlete annyira használható volt, hogy 1960-ban Nobel-díjat is kapott érte. A módszer alapja az a tény, hogy minden élőlényben van a szénnek 14-es tömegszámú izotópja, ami elkezd mérhető sebességgel lebomlani, amikor az élőlény életfunkciói megszűnnek. A szén-14 felezési ideje – az az idő, amikor egy szén-14-minta fele eltűnik – körülbelül 5 600 év, ezért ha sikerült kideríteni, hogy a vizsgált szén-14 mekkora része bomlott le, akkor Libby egészen jól meg tudta mondani az adott tárgy korát, bár csak egy bizonyos pontig. Nyolc felezési idő után az eredeti radioaktív szénnek már csak 0,39%-a marad meg, és ez nem elég a megbízható méréshez, ezért a radiokarbon-kormeghatározás csak a legfeljebb negyvenezer éves tárgyak esetében működik.

Az új módszert egyre többen használták, ezért egyre több hibája derült ki. Először is felfedezték, hogy Libby képletének egyik alapvető része, a bomlási állandó értéke körülbelül 3%-kal eltér a valós értéktől. Addigra viszont már több ezer vizsgálatot végeztek mindenhol a világban. Ezért ahelyett, hogy ezeket az értékeket mind újraszámították volna, inkább megtartották a használt hibás állandót. Tim Flannery szerint: „így minden, aminek a dátumát radiokarbon-kormeghatározással állapították meg, 3%-kal fiatalabbnak látszik a valódi koránál.” És nem ez volt az egyetlen gond. Azt is hamar felfedezték, hogy a szén-14-minták gyakran szennyeződnek máshonnan származó szénnel – például egy kis növényi résszel, amit véletlenül a lelettel együtt gyűjtöttek be. A fiatalabb (húszezer évet el nem érő) minták esetében egy kis szennyeződés nem sokat számít, de a régebbieknél már igen, mert nagyon kicsi a fennmaradó atomok száma. Tim Flannery hasonlata szerint az első eset olyan, mintha pénzolvasás során ezer dollár helyett 1001-et számolnánk, a második viszont olyan, mintha 1 dollár helyett számolnánk 2-t.

Libby módszeréhez az a feltételezés is kellett, hogy a légkörben lévő szén-14 mennyisége és annak üteme, hogy ennek az élőlények mekkora részét fogyasztják el, minden korban ugyanakkora volt. Ez persze nem igaz. Ma már tudjuk, hogy a légköri szén-14 térfogata attól függ, hogy a Föld mágnessége mennyire téríti el a kozmikus sugarakat, és ebben jelentős különbségek mutatkoznak. Ez azt jelenti, hogy egyes szén-14-alapú kormeghatározások egészen pontosak, míg mások teljesen kétségesek. Kétséges például, hogy Észak-, illetve Dél-Amerikába mikor jöttek először emberek; ez a kérdés állandó vita tárgya.

Végül és kicsit váratlanul, a kormeghatározások teljesen hibásak lehetnek egyes, látszólag az ügytől független tényezők fennállása esetén; függnek például az élőlény étrendjétől, amelyből a vizsgált csont származik.

Nemrég újra fellángolt a régi vita, hogy a szifilisz vajon az Új- vagy az Óvilágból származik. A Hullban kutató régészek azt találták egy kolostor temetőjének vizsgálata alapján, hogy a szerzetesek szifilisztől szenvedtek. Először azt hitték, hogy ez még Kolumbusz utazása előtt történt, de később rájöttek, hogy mivel a szerzetesek sok halat fogyasztottak, csontjaik régebbieknek tűnhetnek, mint amilyenek valójában. Lehet, hogy a szerzeteseket tényleg sújtotta szifilisz, de hogy hogyan és mikor fertőződtek meg, az sajnos titok marad.

A szén-14-alapú kormeghatározás megbízhatatlanságai miatt a tudósok más módszereket dolgoztak

ki a leletek korának kiderítésére. Ilyenek például a hőlumineszcencia, amelynél az agyagba zárt elektronokat vizsgálják, és az elektronspin-rezonancia, amikor a leletet elektromágneses hullámokkal bombázzák, és megmérik az elektronok rezgését. De még a legjobb módszer sem volt alkalmas a kétszázezer évesnél régebbi leletek kormeghatározására, a szervetlen anyagokra, például a kövekre pedig végképp nem, bár éppen erre lett volna szükség, hogy végre kiderüljön bolygónk kora.

A kövek kormeghatározása annyira reménytelennek tűnt, hogy egy ponton a világon szinte mindenki feladta, mint megoldhatatlan problémát. Ha nem lett volna egy végsőkig elszánt angol professzor, Arthur Holmes, lehet, hogy ma sem lennénk közelebb a megoldáshoz.

Holmes hősiesen legyőzte az akadályokat, és csodálatos eredményeket ért el. Az 1920-as évekre, amikor pályája csúcsára ért, a geológia már egyáltalán nem volt divatban – a kor új kedvence a fizika volt –, és ezért anyagilag is nagyon kevéssé támogatták, főleg Angliában, szellemi szülőhazájában. A Durham Egyetem geológiai tanszéke éveken keresztül csak egy személyből állt: Holmesból. Gyakran kölcsönkért vagy házilag készített eszközökkel kellett végeznie a kövek radiokarbon-kormeghatározását. Egyszer kutatásait egy teljes évre fel kellett függesztenie, mert ennyi időbe telt, amíg az egyetem hajlandó volt ellátni őt egy egyszerű összeadógéppel. Voltak időszakok, amikor egyáltalán nem tudott a geológiával foglalkozni, mert el kellett tartania a családját – egy időben régiségboltot tartott fenn Newcastle upon Tyne-ban –, és néha nem volt öt fontja, hogy befizesse az éves tagsági díjat a Geológiai Társaságnak.

Holmes egy elvében teljesen tisztázott módszert használt, amely az először Rutherford által 1904-ben megfigyelt jelenségen alapult: egy elem egyes atomjai más atomokká bomlanak, méghozzá meglehetősen kiszámítható ütemben, ezért használhatók kormeghatározásra. Ha tudjuk, hogy a kálium-40-ből mennyi idő alatt lesz argon-40, és megmérjük az egyes mintákban lévő anyagmennyiségeket, akkor kiszámíthatjuk, milyen régi az adott anyagminta. Holmes kiszámította, hogy az uránium mennyi idő alatt bomlik ólommá, és azt remélte, hogy ez megfelel majd a kövek és végső soron a Föld korának meghatározásához.

Holmesnak sok műszaki problémát meg kellett még oldania. Szüksége lett volna mindenféle kifinomult eszközre (vagy legalábbis nagyon jól tudta volna hasznosítani ezeket munkájában), amelyekkel nagyon kicsi mintákon nagyon pontos méréseket végezhet, de mint láttuk, még egy összeadógép beszerzése is gondot jelentett számára. Hatalmas teljesítmény volt tehát, amikor 1946-ban nyugodt lelkiismerettel bejelenthette, hogy a Föld legalább hárommilliárd éves, de lehet, hogy ennél is öregebb. Sajnos ekkor újabb akadályba ütközött: maradi tudóstársai egyszerűen nem fogadták el az eredményt. Bár módszerét elismerték, sokan kételkedtek abban, hogy az adat a Föld korára vonatkozik; azt mondták, lehet, hogy csak az anyag ilyen régi, amelyből a Föld kialakult.

Ugyanekkor történt, hogy a Chicagói Egyetemen Harrison Brown új eljárást talált ki az ólomizotópok számlálására a magmás kőzetekben (ezeket nevezik eruptív kőzeteknek is; olyan kövekről van szó, amelyek hő hatására keletkeztek, tehát nem üledékes [és nem metamorf – *a lektor megjegyzése*] kőzetek). Mivel Harrison látta, hogy rendkívül unalmas munka következik, kiadta az ifjú Clair Patterson doktori disszertációjának témájául. Azzal hitegette Pattersont, hogy a Föld korának megállapítása az új módszerrel gyerekjáték lesz. Valójában azonban még évek kellettek hozzá.

Patterson a munkát 1948-ban kezdte el. Thomas Midgley színes, a technikai haladást elősegítő eredményei mellett az, hogy Patterson meghatározta a Föld korát, egészen hétköznapi teljesítménynek tűnik. Hét éven át, először a Chicagói Egyetemen, később a Caltechen (a Kaliforniai Műszaki Intézet 1952-ben költözött át nyugatra) steril laboratóriumában dolgozott, és nagyon pontos méréseket végzett

a régi kőzetekből választott minták relatív ólom- és urániumtartalmának meghatározására.

A Föld korának meghatározásával az volt a fő gond, hogy nagyon régi kövek kellettek hozzá, lehetőleg olyan ólom- és urániumtartalmú kristályokat tartalmazók, amelyek majdnem olyan régiek, mint maga a Föld, hiszen különben megtévesztő adatot kapnánk – igazán régi köveket azonban valamiért nem találtak. Az 1940-es évek végén senki nem értette teljesen, hogy miért nem. Sőt, az ember már rég járt az űrben, mire valakinek elfogadható elképzelése lett arról, hová tűntek a Föld legrégebbi kőzetei. (A válasz a lemeztektonika, amelyről természetesen még lesz szó.) Pattersonnak közben úgy kellett értelmes választ adnia a kérdésre, hogy nem rendelkezett hozzá megfelelő eszközökkel. Végül nagyon találékonynak bizonyult, és rájött, honnan szerezzen megfelelő köveket: nem a Földről, hanem a meteoritokból.

Feltételezése – bár elsőre elég különösen hangzott, de kiderült, hogy igaza volt – az volt, hogy a meteoritok nagy része tulajdonképpen olyan építőanyag, amely kimaradt, amikor a Naprendszer létrejött, és valószínűleg sikerült megőrizniük eredeti belső összetételüket. Ha megmérjük ezeknek a vándorló szikláknak a korát, akkor jó becslést kapunk a Föld koráról.

De mint minden más, ez az ötlet sem volt olyan egyszerű, ahogyan fent röviden elmeséltem. Nincsen túl sok meteorit, és a meteoritminták begyűjtése nem egyszerű. Brown mérési módszere ráadásul rendkívüli pontosságot igényelt. Ráadásul észrevették, hogy a használt minták folyamatosan és érthetetlen módon szennyeződnek a légkörben lévő ólomtól, amikor levegővel érintkeznek. Végül ezért építettek steril laboratóriumot; állítólag az első ilyet.

Patterson hét évet töltött a minták türelmes keresésével és méregetésével, mielőtt a végső kísérletre sor került. 1953 tavaszán elvitte a mintadarabokat az Illinois állambeli Argonne Nemzeti Laboratóriumba, ahol a legújabb tömegspektrográffal dolgozhatott. Ez a műszer alkalmas volt a régi kristályokban rejtőző parányi mennyiségű uránium és ólom megmérésére. Amikor végre Patterson kezében voltak az eredmények, a fizikus olyan izgatott lett, hogy egyenesen iowai szülővárosába sietett, és megkérte édesanyját, kísérje őt el a kórházba, mert azt hitte, szívrohama van.

Nem sokkal később egy wisconsini konferencián Patterson bejelentette, hogy a Föld 4 550 millió (plusz/mínusz 70 millió) éves és, mint McGrayne némi nagyrabecsüléssel megjegyzi, „ez a szám ma, ötven évvel később sem változott”.

Patterson majdnem azonnal elkezdett foglalkozni a légkör ólomtartalmával. Csodálkozva fedezte fel, hogy szinte minden, amit eddig az ólom emberre gyakorolt hatásáról tudtunk, téves vagy legalábbis félrevezető – nem csoda, hiszen negyven évig csak az ólomadalékok gyártói készítettek tanulmányokat ebben a témában.

Az egyik ilyen szakvélemény egy olyan orvostól származik, aki nem részesült külön kémiai-patológiai képzésben. Az öt éven át tartó vizsgálat során az önként jelentkező kísérleti alanyok esetenként a normálisnál magasabb ólomtartalmú levegőt szívtak be, és ilyen ételt kaptak. Utána megvizsgálták vizeletüket és székletüket. Sajnos, az orvos nem tudta, hogy az ólom nem ürül ki a szervezetből, hanem felhalmozódik a vérben és a csontokban – ettől olyan veszélyes –, és sem a csontokat, sem a vért nem vizsgálták. Így nyugodtan állíthatták, hogy nincsen semmi baj az ólommal.

Patterson gyorsan megállapította, hogy a légkörben rengeteg ólom van – ez az ólom ma is ott van, hiszen éppen ez a baj vele –, és ennek körülbelül 90%-a a kipufogógázokból származik, de nem tudta bebizonyítani. Jó lett volna, ha össze tudja hasonlítani a légkör ólomtartalmát az 1923 (az ólom-tet-

raetil bevezetésének éve) előtti értékekkel. Eszébe jutott, hogy erre jó lehetőség a „jégmagok” vizsgálata.

Ismert tény volt, hogy a hó a hideg vidékeken, például Grönlandon évenként jól elhatárolható rétegekben rakódik le (mivel az évszakok közötti hőmérséklet-különbség miatt az állandóan hulló hó évszakonként kissé eltérő színű). Ha megszámlálná rétegeket, és megmérné ólomtartalmukat, ki tudná számítani, hogy mekkora volt a légkör ólomtartalma ezelőtt több évszázaddal vagy akár évezreddel. Ez a gondolat indította el az első ilyen jégmagvizsgálatokat, amelyeken ma a modern éghajlattan alapul.

A jégminták tanulmányozásával kiderült, hogy 1923 előtt szinte nem is volt ólom a légkörben, azóta viszont folyamatosan és veszélyesen nő az ólom koncentrációja. Patterson életcélja ezután az ólomtartalmú üzemanyag-adalékok gyártásának és használatának betiltása lett, ezért állandóan és néha hangosan fellépett az ólomgyártók és érdekeltségeik ellen.

Kiderült, hogy túl nagy fába vágta a fejszéjét. Az Etil hatalmas világcég volt; befektetői fontos politikai pozíciókat foglaltak el. (Egyik igazgatója Lewis Powell volt, a Legfelsőbb Bíróság tagja, egy másik Gilbert Grosvenor, a *National Geographic Társaság* tagja.) Patterson egyszer csak észrevette, hogy a kutatásaira nem vagy csak nehezen kap pénzt. Az Amerikai Petróleum Intézet felbontotta a vele kötött kutatási szerződést, de ezt tette az Egyesült Államok Közegészségügyi Hivatala is, amely elvileg egy semleges, állami intézmény.

Patterson egyre inkább terhessé vált a Caltechnek is. Az intézet igazgatósági tagjaira mind több nyomás nehezedett az ólomipar irányából. Próbálták kényszeríteni az intézetet, hogy Pattersont vagy hallgattassa el, vagy bocsássa el. Jamie Lincoln Kitman a *The Nation* folyóiratban 2000-ben megjelent cikke szerint az Etil vezető állású tisztviselői állítólag felajánlották, hogy új kart létesítenek az intézményben, ha Patterson „szedi a sátorfáját”. 1971-ben minden józan érvnek ellentmondva kizárták egy nemzeti vizsgálóbizottságból, amely a légköri ólom veszélyeit próbálta kideríteni, pedig Patterson közismerten Amerika legnagyobb szaktekintélye volt a témában.

Patterson soha nem ingott meg. Végül erőfeszítései hatására 1970-ben meghozták a „tiszta levegő” törvényt, 1986-ban pedig az Egyesült Államokban kivonták forgalomból az összes ólomadalékolt üzemanyagot. Az amerikaiak vérének ólomtartalma szinte azonnal 80%-kal csökkent. De mivel az ólom nem tűnik el, a ma élő amerikaiak vérében még mindig körülbelül 625-ször annyi ólom van, mint a száz évvel korábban élt elődeikében. A légköri ólom mennyisége is nő, teljesen törvényesen, méghozzá évente százezer tonnával, elsősorban a bányászati, kohászati és más ipari tevékenység következtében. Az Egyesült Államok betiltotta az ólom használatát a házon belül használt festékekben, – igaz, McGrayne megjegyzése szerint 44 évvel később, mint Európa legtöbb országában. Az ólomforrasztást viszont, érthetetlen módon, egészen 1993-ig használhatták az amerikai élelmiszerkonzervek lezárására.

Az Etil Vállalat még mindig virágzik, bár a General Motors, a Standard Oil és a Du Pont már nincsenek a részvényesek között. (1962-ben üzletrészüket eladták egy Albemarle Paper nevű cégnek.) McGrayne szerint 2001 februárjában az Etil még mindig azt állította, hogy „a kutatások nem mutatták ki, hogy az ólmozott üzemanyag veszélyezteti az ember egészségét vagy a környezetet”. Honlapjukon a vállalat történetében szó sincsen az ólomról – vagy Thomas Midgleyről –, szerényen annyit írnak, hogy az eredeti termék „különböző vegyi anyagok keveréke” volt.

Az Etil már nem gyárt ólmozott üzemanyagot, bár 2001-es mérlegük szerint az ólom-tetraetil (inkább csak „TEL”-nek szeretik hívni az angol kifejezés, „tetra-ethyl lead” rövidítéseként) eladásából

2000-ben 25,1 millió dollár folyt be (összes bevételük 795 millió dollár volt), kicsit több, mint 1999-ben (24,1 millió dollár), de jóval kevesebb, mint 1998-ban (117 millió dollár). Jelentésében a cég beszámol döntéséről, hogy „a lehető legnagyobb készpénzbevételt kívánják elérni a TEL eladásából, amíg még használják a világ több pontján”. Az Etil a TEL-t egy angol cégen, az Associated Octel Ltd.-n keresztül exportálja.

Thomas Midgley másik dicsőséges hagyatéka, a CFC-gázok, hasonló sorsra jutottak. 1974-ben betiltották használatukat az Egyesült Államokban, de sajnos állhatatos vegyületek, és amit belőlük kiengedtünk a légkörbe (például palackos dezodorok és hajlakkok hajtógázaként), azok bizony vígan keringenek tovább fölöttünk, ózont pusztítva, még akkor is, amikor már sem én, sem az olvasó nem leszünk itt. Sőt, minden évben újabb nagy adag CFC kerül a légkörbe. Wayne Biddle szerint ennek az anyagnak körülbelül 27 millió kilogrammja kerül évente eladásra, 1,5 milliárd dollár értékben. Vajon ki gyártja? Mi, amerikaiak, csak éppen nem itthon, hanem nagyvállalataink tengerentúli gyáraiban. A harmadik világban csak 2010-ben fogják betiltani a használatát.

Clair Patterson 1995-ben halt meg. Munkájáért nem kapott Nobel-díjat. A geológusok nem szoktak. Fél évszázados állhatatos és egyre önzetlenebb munkája nem szerzett neki hírnevet, de még csak azt sem mondhatjuk, hogy különösebben ismertté vált volna. Bátran kijelenthetjük, hogy a XX. század során ő volt a legnagyobb hatással a geológia fejlődésére, de vajon ki hallott róla valaha is? A legtöbb geológiai tankönyv még csak meg sem említi. Két nemrég megjelent ismeretterjesztő könyvben, amelyek a Föld korának meghatározásával foglalkoznak, neve hibásan szerepel. 2001 elején a Nature folyóiratban valaki ismertette az egyik könyvet, és az írásból világosan kiderül, hogy azt hitte, Patterson nő volt.

Ezért hát hadd köszönjük meg itt Clair Pattersonnak, hogy 1953-ban végre biztosan megtudhattuk a Föld korát.

11.
MARK MESTER KVARKJAI

1911-ben egy C. T. R. Wilson nevű brit tudós a felhőképződést tanulmányozta, ezért rendszeresen feljárt a Ben Nevis hegycsúcsra (ez Skócia egyik legcsapadékosabb vidéke). Később eszébe jutott, hogy kell lennie ennél egyszerűbb módszernek is. A cambridge-i Cavendish Laboratóriumban épített egy mesterséges ködkamrát, egy egyszerű eszközt, amelyben megnövelhette a levegő páratartalmát, és csökkenthette a hőmérsékletét, tehát laboratóriumi körülmények között modellezhette a felhőképződés folyamatát.

A berendezés nagyon jól bevált, sőt egy másik komoly felfedezéshez is elvezetett. Amikor alfa-részecskét küldött a kamrába, hogy felhő képződjön körülötte, az látható nyomott hagyott, mint egy repülőgép kondenzcsíkja. Ezzel fel is találta a részecskedetektort, és ezzel együtt annak a meggyőző bizonyítékát, hogy valóban léteznek atomméretnél kisebb részecskék.

Később két másik, a Cavendishben dolgozó tudós még hatékonyabb protonnyalábeszközt talált fel, a kaliforniai Berkeleyben pedig Ernest Lawrence létrehozta híres, sőt lenyűgöző részecskegyorsítóját, más, kalandosabb nevén atomrombolóját. Mindegyik ugyanazon az elven működött (és még ma is működik): egy protont vagy más elektromos töltésű részecskét különlegesen nagy sebességre gyorsít egy egyenes vagy kör alakú pályán, majd összeütközteti egy másik részecskével, és megvizsgálják, mi történt. Ezért nevezik őket néha atomrombolónak. Nem a legkifinomultabb tudományos módszer, de általában hatékony.

A fizikusok tehát egyre nagyobb és hatékonyabb gépeket építettek, és segítségükkel számtalan részecskét és részecskecsaládot találtak, vagy legalábbis sok ilyen létezésére következtettek; megjelentek a müonok, pionok, hiperonok, mezonok, K-mezonok, Higgs-bozonok, közvetítő vektor-bozonok, barionok és tachionok. Ez még az atomfizikusoknak is sok volt egy kicsit. Egyszer Enrico Fermitől megkérdezte egy diákja egy bizonyos részecske nevét. A professzor így válaszolt: „Fiatalember, ha képes lennék megjegyezni minden részecske nevét, botanikusnak mentem volna.”

Ma a részecskegyorsítók neve beleillene bármelyik tudományos-fantasztikus kalandfilmbe: Szuper Proton Szinkrotron, Nagy Elektron-Pozitron-ütköztető, Nagy Hadronütköztető, Relativisztikus Nehézion-ütköztető. Ezek hatalmas energiákat felhasználva (némelyikük éjszaka működik, hogy a környező városokban ne halványuljon el a világítás, amikor a berendezést bekapcsolják) a részecskéket úgy felgyorsítják, hogy például egy elektron 47 000 hétkilométeres kört tesz meg egy alagútban egy másodperc alatt. Félő, hogy a lelkes tudósok egyszer majd véletlenül létrehoznak egy fekete lyukat vagy esetleg egy „ritka kvark”-ot, ami elméletileg kölcsönhatásba léphetne más szubatomi részecskékkel, és megállíthatatlanul terjedne. Ha az olvasó még velem van, akkor ez egyelőre nem következett még be.

A részecskék kereséséhez nagy figyelem kell. Nemcsak kicsik és gyorsak, hanem gyakran szívfájdítón múlékonyak is. Van olyan részecske, amelyik 0,000000000000000000000001 (10^{-24}) másodperc alatt jelenik meg, és tűnik el újra. Még az instabil részecskék leglomhábbika is csak 0,0000001 (10^{-7}) másodpercig él.

Egyes részecskék szinte nevetségesen megfoghatatlanok. A Földet minden másodpercben tízezerbillió billió apró, szinte tömeg nélküli neutrínó látogatja meg (legtöbbjük a Nap nukleáris folyamataiból

származik), és szinte mindegyik áthatol a bolygón, és mindenen, ami ott van, tehát az olvasón és rajtam is, mintha ott sem lennénk. Ahhoz, hogy közülük néhányat befogjanak, a tudósok hatalmas, akár 57 000 köbméteres nehézvízzel (olyan vízzel, amelyben a szokásosnál több a deutérium) teli tartályokat használnak föld alatti létesítményekben (általában elhagyott bányákban), ahol a más típusú sugárzás nem zavarja meg a kísérleteket.

Néha-néha egy áthaladó neutrínó összeütközik a víz egyik atommagjával, és ekkor egy leheletnyi energia szabadul fel. A fizikusok ezeket az eseményeket számolják, hogy egy kicsit közelebb kerüljünk a világegyetem megismeréséhez. 1998-ban japán megfigyelők bejelentették, hogy a neutrínóknak mégis van tömegük, bár igen csekély – körülbelül az elektron tömegének egy tízmilliomoda.

A részecskék megtalálásához elsősorban pénz kell – jó sok pénz. A modern fizikában furcsa fordított kapcsolat áll fenn a keresett dolog kicsinysége és a kereséshez használt eszközök nagysága között. A CERN (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire, a részecskefizikai kutatások európai szervezete) olyan, mint egy kisváros. Franciaország és Svájc határán terül el. Háromezer dolgozója van és területe több négyzetkilométer. A CERN-ben van egy olyan mágnessorozat, amelynek a tömege nagyobb, mint az Eiffel-toronyé, és van egy körülbelül 26 kilométer hosszú föld alatti alagútjuk is.

Az atomok széthasítása könnyű; az olvasó is megteszi akárhányszor, például amikor felkapcsolja a neonvilágítást. Az atommag hasításához viszont sok pénzre és rengeteg áramra van szükség. Ha pedig a kvarkok szintjére akarunk elérni, akkor még nagyobb erőfeszítést kell tennünk: több billió volt elektromosságot és egy kis közép-amerikai állam éves költségvetését fogjuk elhasználni. A CERN új Nagy Hadronütköztetőjét 2005-ben fogják beüzemelni, megépítése pedig több mint 1,5 milliárd dollárba kerül.[38] (A hadronütköztető üzembe helyezése késik, most 2007-re tervezik – *a lektor megjegyzése*.)

De ezek a számok elenyésznek amellett, amit a hatalmas és sajnos meg nem valósuló Szupravezető Szuperütköztető fogyasztott volna, illetve amennyit ráköltöttek volna. Ezt az 1980-as években kezdték építeni a texasi Waxahachie-ben, mielőtt a nagyszabású terv szupernagy ütközésbe nem került az Egyesült Államok Kongresszusával. Az ütköztető segítségével a fizikusok „az anyag végtelen mélységeit” tanulmányozhatták volna, mert hasonló körülményeket lehetett volna vele létrehozni, mint amilyenek a világegyetem első ezermilliárdad másodpercében lehettek. Azt tervezték, hogy egy 84 kilométeres alagúton lendítik át a részecskéket, és ezzel 99 billió elektronvolt (eV) energiát értek volna el, ami valóban hihetetlen mennyiség. Hatalmas terv volt, de megépítése 8 milliárd dollárba került volna (később kiderült, hogy inkább 10 milliárdba), és évente több százmilliárd dollár lett volna a működtetési költsége.

A történelemben ez volt a legjobb példa arra, hogy a pénzt egy gödörbe töltik; a kongresszus 2 milliárd dollárt költött az elképzelésre, majd 1993-ban leállította a beruházást, pedig akkorra már elkészült 22 kilométer az alagútból. Így ma Texasnak van a legdrágább lyuka a világ-egyetemben. A Forth Worth Star-Telegram munkatársától, Jeff Guinn barátomtól tudom, hogy az építkezés színhelye „lényegében egy hatalmas, üres mező, amelyet szomorú kisvároskák szegélyeznek”.

A szuperütköztető meghiúsulása óta a részecskefizikusok már nem törnek ilyen magasra, de még a viszonylag szerényebb tervek is lélegzetelállítóan költségesek, ha összehasonlítjuk – tulajdonképpen bármi mással. A Dél-Dakota állambeli Lead Homestake nevű elhagyott bányában egy neutrínómegfigyelő állomást terveznek építeni. Ez 500 millió dollárba kerülne így, egy már kiásott bányában, és akkor még nem beszéltünk az üzemeltetési költségekről. Felmerült egy úgynevezett „általános átalakítási költség” is, ami 281 millió dollár. Az illinoisi Fermilab részecskegyorsítónak csak a felújítása 260

millió dollárba került.

A részecskefizika tehát roppantul költséges vállalkozás – viszont ugyanakkor produktív. Ma már jóval több mint 150-féle részecskét ismernek, és további 1000 létezésére gyanakszanak, de sajnos, Richard Feynman szavaival élve „nagyon keveset tudunk a részecskék közötti kapcsolatról, arról, hogy mire valók vagy hogy hogyan kötődnek egymáshoz". Megismerésük folyamata olyan, mintha mindannyiszor, amikor végre megoldanánk egy addig zárt doboz kinyitását, benne azonnal egy másik zárt dobozt találnánk. Van, aki úgy gondolja, hogy léteznek tachion nevű részecskék, amelyek meg tudják haladni a fénysebességet. Mások gravitonokat keresnek, a gravitációt közvetítő részecskét. Nem könnyű megmondani, hogy mikor fogjuk elérni az oszthatatlan részecskét. Carl Sagan Kozmosz című könyvében felveti, hogy ha egyre beljebb utaznánk egy elektron mélységeibe, lehet, hogy kiderülne, hogy ott egy külön kis világegyetemet találnánk, mint az 1950-es évek tudományos-fantasztikus regényeiben. „Ebben a galaxisok és kisebb rendszerek megfelelőit találnánk, azokban pedig még sokkal apróbb részecskék elképzelhetetlen tömegét, amelyek a következő szinten maguk is világegyetemek, és így tovább, a végtelenségig – végtelen lemenő struktúrák, világegyetemek más világegyetemekben, az örökkévalóságig. És persze fölfelé is."

Legtöbbünk számára ez a világ mindig megismerhetetlen marad. A részecskefizikával kapcsolatos legelemibb könyvekben is hamarosan ilyesféle lexikális dzsungelekbe bonyolódunk: „A töltéssel bíró pion és antipion mindketten lebomlanak egy müonná és egy antineutrínóvá, valamint egy antimüonná és egy neutrínóvá; élettartamuk átlagosan $2{,}603 \times 10^{-8}$ másodperc. A semleges pion két fotonná bomlik, amelyek átlagos élettartama körülbelül $0{,}8 \times 10^{-16}$ másodperc, a müon és az anti-müon pedig..." És így tovább, és ez csak egy általános olvasóközönség számára írt könyv volt az egyik legérthetőbb szerző, Steven Weinberg tollából.

Az 1960-as években a Caltech egyik fizikusa, Murray Gell-Mann megkísérelte kicsit egyszerűsíteni a dolgokat. Kitalált egy új részecskeosztályt, Steven Weinberg szerint főleg azért, hogy „kicsit szervezettebben lehessen kezelni a rengeteg hadront". Az elnevezést lehetett használni a protonokra, neutronokra és mindazon részecskékre, amelyekre az erős nukleáris kölcsönhatás hat. Gell-Mann elmélete szerint a hadronok még kisebb építőelemekből állnak. Munkatársa, Richard Feynman azt javasolta, hogy nevük parton legyen (lehet, hogy Dolly Parton miatt?), de végül Gell-Mann egy másik szó mellett döntött: a részecskék összefoglaló neve kvark lett.

Az új szót a *Finnegan ébredése* egy mondata ihlette: „Három kvarkot Mark mesternek!"[39] A kvarkok azonban nem sokáig maradhattak a legalapvetőbb, legegyszerűbb részecskék. Amikor jobban megismerték őket, kénytelenek voltak ezeket is tovább osztályozni. Bár a kvarkok túl kicsik ahhoz, hogy színük, ízük vagy bármilyen felismerhető fizikai tulajdonságuk legyen, hat csoportra osztották őket: fel, le, ritka, bájos, felső és alsó. Különös módon a fizikusok a fenti tulajdonságokat a kvarkok ízeként emlegetik, és ezeken belül megkülönböztetnek piros, zöld és kék kvarkot. (Nem rejthetjük véka alá gyanúnkat, hogy az elnevezések nem véletlenek; először Kaliforniában használták őket a pszichedelikus korban.)

Végül mindebből kibontakozott az úgynevezett standard modell, amit tekinthetünk a szubatomi világ építőkészletének. A standard modellben van hat kvark, hat lepton, öt ismert bozon plusz egy feltételezett hatodik, a Higgs-bozon (Peter Higgs skót fizikus után), és a gravitáción kívül három fizikai erő: az erős és a gyenge kölcsönhatás és az elektromágnesség.

Az alapvető építőköveket, a kvarkokat a gluonok tartják össze, ezekből lesznek a protonok és a neutronok, az atommag. Az elektronok és a neutrínók leptonok. A kvarkokat és a leptonokat együtt fer-

mionoknak nevezzük. A bozonok (S. N. Bose indiai fizikus után kapták a nevüket) erőt létrehozó és közvetítő részecskék, ide tartoznak a fotonok és a gluonok. A Higgs-bozon vagy létezik, vagy nem; csak azért tételezik fel őket, hogy a részecskéknek tömegük lehessen.

Az egész rendszer eléggé esetlen, de még mindig ez a legegyszerűbb modell, amellyel le lehet írni, mi is történik a részecskék világában. A legtöbb részecskefizikus ugyanúgy érez, ahogyan Leon Lederman nyilatkozott egy 1985-ös ismeretterjesztő televízió-műsorban: a standard modell nem elegáns, de még csak nem is egyszerű. „Túl bonyolult. Túl sok önkényes paramétere van. Nem könnyű elképzelni, amint a Teremtő húsz fogantyút csavargatva beállítja a világegyetem húsz paraméterét." A fizika tulajdonképpen nem más, mint a végső egyszerűség keresése, de eddig csak valamiféle elegáns zűrzavart találtunk, vagy, visszatérve Lederman szavaihoz: „Nagyon erősen úgy érezzük, hogy a kép nem szép."

A standard modell nemcsak esetlen, de nem is teljes. Egyik hiányossága, hogy szó sincsen benne a gravitációról. Akármilyen tüzetesen vizsgáljuk is a modellt, egy szót sem találunk arról, hogy amikor a kalapunkat az asztalra tesszük, az miért nem emelkedik fel a mennyezetig. A tömeggel sem foglalkozik. Ahhoz, hogy a részecskéknek egyáltalán tömegük legyen, be kellett vezetni a képzeletbeli Higgs-bozont. Hogy létezik-e, azt majd a XXI. század fizikusai fogják eldönteni. Feynman vidám kijelentése szerint: „itt van nekünk ez az elmélet, és nem tudjuk, igaz-e, de azt igen, hogy teljesen nem lehet jó, de legalábbis nem teljes."

A fizikusok mindenképpen szerettek volna mindent egy kézben tartani, ezért előálltak a szuperhúrelmélettel. Eszerint az eddig részecskének tartott apróságok, például a kvarkok és a leptonok, valójában húrok, vagyis tizenegy dimenzióban rezgő energiaszálak. A tizenegyből hármat már ismerünk, a negyedik az idő, a maradék hét pedig sajnos megismerhetetlen számunkra. A húrok nagyon kicsik – olyan kicsik, hogy a pontszerű részecskék könnyen áthatolnak rajtuk.

A további dimenziók bevezetésével a szuperhúrelmélet lehetővé teszi, hogy a fizikusok egy egészen áttekinthető rendszerbe hozzák a kvantumfizika törvényeit a gravitációs törvényekkel, ugyanakkor azzal a veszéllyel is jár, hogy bármi, amit egy fizikus az elméletről mond, úgy hangzik, hogy ha azt egy barátságos idegen fejtené ki nekünk a parkban, gyorsan keresnénk egy másik padot. Példaképpen álljon itt Michio Kaku magyarázata a világegyetem szerkezetéről a szuperhúrok felől nézve:

> „A heterotikus húr egy zárt húr, ami kétféleképpen rezeg: az óramutató járása szerint és azzal ellentétesen. Az óramutató járása szerint rezgő húr 26 dimenziós térben létezik, amelyből 16 dimenzió egybetömörül. (Emlékezzünk, hogy az eredeti ötdimenziós modellben az ötödik köré tömörültek.)"

És így tovább, vagy 350 oldalon át.

A szuperhúrelméletek később úgynevezett M-elméletté egyesültek, amelyben többek között membránnak nevezett felületek vannak – újabban csak „brán"-nak hívják ezeket. Attól félek, hogy a tudás országútján legtöbben csak idáig juthatunk. Hadd idézzek még egy mondatot a New York Timesból, ami a lehető legegyszerűbben magyarázza a jelenséget az olvasóközönségnek:

> „Az ekpirotikus folyamat valamikor a meghatározhatatlan múltban kezdődött, amikor két lapos, üres brán ült egymás mellett egy görbült ötdimenziós térben... A két brán, amelyek az ötödik di-

menzió falát alkotja, a semmiből is előugorhatott kvantumfluktuáció formájában a még régebbi múltban, és azután távolabbra sodródtak egymástól."

Ezzel nem tudunk vitatkozni. Igaz, nem is értünk belőle egy szót se. Az ekpirotikus szó egyébként görög eredetű, és gyulladást jelent.

A fizika fejlődése ezzel olyan szakaszába ért, ahol, legalábbis Paul Daviesnek *Nature* folyóiratban megjelent cikke szerint „a nem tudósnak szinte lehetetlen megkülönböztetnie a tudományosan megalapozott furcsaságot a leplezetlen őrültségtől". Érdekes, hogy a kérdés 2002 őszén került döntő stádiumba, amikor két francia fizikus, Igor és Griska Bogdanov előállt egy nagyra törő elmélettel, amelyben olyan fogalmak szerepelnek, mint a „képzetes idő" és a „Kubo-Schwinger-Martin-feltétel". Az elmélet célja, hogy leírja vele azt a semmit, ami a világegyetem volt az ősrobbanás előtt, abban az időben, amelyet mindeddig megismerhetetlennek tekintettünk (hiszen megelőzte a fizika és a fizikai tulajdonságok születését).

A Bogdanov-elméletet szinte azonnal elkezdték vitatni, méghozzá olyan tág keretek között, hogy kiderülhet még róla, hogy sületlenség, hogy zseniális meglátás vagy akár, hogy beugratás.

Karl Popper, akit Steven Weinberg „a modern tudományfilozófusok doyenjének" tart, egyszer felvetette, hogy lehet, hogy a fizikának nem is létezik nagy egyesített elmélete; minden magyarázat mögött további magyarázatoknak kell állniuk, és ezek „az egyre alapvetőbb elvek végtelen láncolatát" alkotják. Másik lehetőség is van: lehet, hogy az ilyen tudás ember számára nem fogható fel. Weinberg így ír erről *Dreams of a Final Theory (Álmok egy végső elméletről)* című könyvében: „Eddig szerencsére még nem merítettük ki intellektuális erőforrásainkat."

Majdnem bizonyos, hogy ezen a területen még van lehetőség a fejlődésre, de a fejleményeket legtöbben nem tudjuk majd felfogni.

Amíg a XX. század közepén a tudósok a nagyon kicsi világát kutatták, a csillagászok legalább ilyen lelkesedéssel vetették bele magukat a világegyetem titkainak kutatásába.

Akkor szóltunk utoljára Edwin Hubble-ról, amikor rájött, hogy az általunk látható galaxisok távolodnak tőlünk, méghozzá úgy, hogy sebességük és távolságuk arányos marad egymással; minél messzebb van egy galaxis, annál gyorsabban távolodik. Hubble ezt a következő képlettel fejezte ki: $H_o = v/d$, ahol H_o a Hubble-állandó, v a távolodó galaxis sebessége, d pedig a Földtől mért távolsága. Ez a Hubble-törvény. A képlet segítségével Hubble kiszámította, hogy a világegyetem körülbelül kétmilliárd éves, ami elég meglepő eredmény, hiszen már az 1920-as végén is nyilvánvaló volt, hogy a világegyetemben sok minden – például valószínűleg maga a Föld – ennél jóval öregebb. Az érték finomítása azóta a kozmológia egyik legfőbb feladata.

A Hubble-állandó körül állandósult a vita, hogy vajon mekkora az értéke. 1956-ban a csillagászok felfedezték, hogy a cefeida változócsillagok változatosabbak, mint ahogyan gondolták, ugyanis kétféle van belőlük. Ekkor mindent újraszámítottak, és az lett az eredmény, hogy a világegyetem kora valahol hétmilliárd és húszmilliárd év között van – nem valami pontos adat, de ahhoz legalább elég, hogy a Föld kialakulhasson benne.

A következő években hosszú vita bontakozott ki Allan Sandage, a Mount Wilson-i Hale Csillagvizsgáló következő igazgatója és Gérard de Vaucouleurs, a Texasi Egyetemen dolgozó francia származású csillagász között. Sandage több éves gondos számítgatás után arra jutott, hogy a Hubble-állandó

értéke 50, vagyis a világegyetem húszmilliárd éves. De Vaucouleurs ugyanilyen biztos volt abban, hogy a Hubble-állandó értéke kétszer ennyi.[40] Ez azt jelentené, hogy a világegyetem csak feleakkora, és feleolyan idős, mint ahogyan azt Sandage gondolja, vagyis tízmilliárd éves. A dolgok tovább bizonytalanodtak, amikor 1994-ben a kaliforniai Carnegie Csillagvizsgálókból egy tudóscsoport a Hubble-űrtávcső mérései alapján kijelentette, hogy a világegyetem csak nyolcmilliárd éves – ezt az eredményt maguk sem nagyon hitték, hiszen már ismertek ennél öregebb csillagot. 2003 februárjában a NASA és a marylandi Goddard Űrrepülési Központ közös csapata kiértékelte egy új nagy hatótávolságú űrszonda, a Wilkinson Microwave Anisotropy Probe mérési eredményeit, és ennek alapján nagy biztonsággal állíthatták, hogy a világegyetem kora 13,7 milliárd év (plusz/mínusz 100 millió év). Most tehát itt tartunk.

A végső kormeghatározást nehezíti, hogy vannak adatok, amelyeket többféleképpen lehet értelmezni. Képzeljük el, hogy éjszaka egy mezőn állunk, és megpróbáljuk eldönteni, milyen messze lehet két elektromos világítótest, amelyet onnan látunk. A csillagászat meglehetősen egyértelmű eszközei segítségével könnyen meghatározhatjuk, hogy mondjuk a két fény azonos intenzitású, és az egyik másfélszer olyan távol van, mint a másik. De azt nem tudhatjuk, hogy a közelebbi fény egy 58 wattos izzó tőlünk 37 méterre, vagy egy 61 wattos tőlünk 36,5 méterre. Ráadásul számolnunk kell a légkör egyenetlenségeiből adódó torzulásokkal, a csillagközi anyag elnyelő hatásával, és még sok más tényezővel. Számításaink tehát egy sor egymásba ágyazott feltételezésen alapulnak, amelyek közül bármelyik torzíthatja az eredményt. Az is gond, hogy a jó távcsövekhez nehéz a hozzáférés, ugyanakkor a vöröseltolódás mérése sok távcsőhasználattal jár. Lehet, hogy egyetlen felvétel egy egész éjszakán át készül. Ezért a csillagászok arra kényszerülnek (vagy csak hajlamosak rá), hogy nagyon kevés mérési eredmény alapján tegyenek kijelentéseket. Geoffrey Carr újságíró így ír a kozmológiáról: „egész hegynyi elméletet építenek egy vakondtúrásnyi bizonyítékra”. Martin Rees megfogalmazásában: „Jelenlegi elégedettségünk [azzal, amennyit ma tudunk a világegyetemről] lehet, hogy az adatok kis mennyiségének köszönhető, és nem az elméletek ragyogó mivoltának.”

Ez a bizonytalanság egyébként vonatkozik a viszonylag közeli dolgokra is, nem csak a világegyetem távoli széleire. Donald Goldsmith megjegyezte, hogy amikor egy csillagász azt mondja, hogy az M87-es galaxis hatvanmillió fényév távolságra van, ezzel azt fejezi ki (de ezt általában nem hangsúlyozza a kívülállóknak), hogy valahol negyvenmillió és kilencvenmillió fényév között van, ami azért nem teljesen mindegy. Az egész világegyetemmel kapcsolatban persze az eltérések is megnőnek. Ahhoz képest, hogy a legutóbbi kijelentések körül mennyi izgalom volt, még elég messze vagyunk egy megnyugtató eredménytől.

Nemrég felbukkant egy érdekes elmélet, hogy a világegyetem nem is olyan nagy, amilyennek gondoltuk; hogy amikor a távolba nézünk, a látott galaxisok némelyike csak tükröződés eredménye. Valójában nagyon sok minden van, még egészen alapvető szinten is, amit nem tudunk – például, hogy miből van a világegyetem. Amikor a fizikusok megpróbálják kiszámítani, hogy mennyi anyag kell ahhoz, hogy a dolgok egyben maradjanak, az eredmény mindig kétségbeejtően sokkal meghaladja a rendelkezésre álló tömeget. Úgy tűnik, hogy a világegyetem 90%-a, de lehet, hogy 99%-a Fritz Zwicky „sötét anyagából” áll – olyan dologból, ami természete szerint láthatatlan számunkra. Kicsit megalázó érzés olyan világegyetemben élni, aminek még csak nem is látjuk a legnagyobb részét, de hát ez van. A két gyanúsítottnak legalább mulatságos nevet adtunk: lehet, hogy ezek a WIMP-ek (a „wimp” jelentése egyrészt jelentéktelen, gyáva ember, másrészt a Weakly Interacting Massive Particle, azaz a gyengén kölcsönható, tömeggel bíró részecske rövidítése), vagyis az ősrobbanás óta fennmaradt láthatatlan

anyagszemcsék, de lehet, hogy MACHO-k (MAssive Compact Halo Objects, vagyis nagy tömegű, kisméretű halóbeli objektumok). Az utóbbi tulajdonképpen a fekete lyukak, barna törpék és más nagyon halvány égitestek gyűjtőneve.

A részecskefizikusok régebben inkább a WIMP-részecskéket okoló magyarázatot fogadták el, az asztrofizikusok pedig a MACHO-csillagokat. Egy darabig vezetett a MACHO, de nem találtak elég ilyet, ezért ismét előnybe kerültek a WIMP-ek – egy pici gond azért itt is van: még senki nem talált WIMP-et. Mivel közöttük gyenge kölcsönhatás van, nehéz őket felismerni (ha egyáltalán léteznek). A kozmikus sugárzás túl sok zavart okozna. Ezért a fizikusoknak a föld alá kell bújniuk. Egy kilométerrel a felszín alatt a kint tapasztalható kozmikus hatásoknak már csak egymilliomod része észlelhető. De még ha mindezt hozzávesszük az ismert anyaghoz, akkor is „hiányzik a világegyetem kétharmada a könyvelésből", ahogyan valaki azt megjegyezte. Ebben a pillanatban a hiányzó részeket akár nevezhetnénk DUNNO-knak is (szójáték: egyrészt kb. annyit jelent, hogy „nemtom", másrész a Dark Unknown Nonreflective Nondetectable Objects Somewhere, azaz a valahol lévő sötét, ismeretlen, nem tükröző, észlelhetetlen objektumok rövidítése).

Nemrég bizonyítékot találtak arra, hogy nem csak, hogy a világegyetem galaxisai távolodnak tőlünk, hanem azt egyre gyorsulva teszik. Ez viszont ellenkezik mindennel, amit eddig tudtunk. Lehet, hogy a világegyetemben nemcsak sötét anyag van, hanem sötét energia is. A fizikusok ez utóbbit néha vákuumenergiának vagy kvinteszenciának nevezik. Bármi legyen is, valószínűleg ez áll a megmagyarázhatatlan tágulás hátterében. Valószínű, hogy az üres tér egyáltalán nem üres, és hogy anyagrészecskék és antianyag-részecskék jönnek hirtelen létre, majd tűnnek újra el, és ezek „nyomják kifelé" a világegyetemet egyre gyorsabban. Könnyen meglehet, hogy az egészet Einstein kozmológiai állandója fogja megoldani – az a kis matematikai megoldás, amit odabiggyesztett az általános relativitáselmélet téregyenletébe, hogy leállítsa a világegyetem feltételezett tágulását, és amit „élete legnagyobb baklövésének" nevezett. Most elképzelhetőnek tűnik, hogy mégiscsak igaza volt.

A végeredmény: olyan világegyetemben élünk, amelynek a korát nem tudjuk pontosan kiszámítani, olyan csillagok vesznek minket körül, amelyeknek a Földtől és egymástól való távolságát nem ismerjük pontosan, és olyan anyag van körülöttünk, amelyet nem tudunk azonosítani, és ez az anyag olyan fizikai törvényeknek engedelmeskedik, amelyeknek nem ismerjük minden tulajdonságát.

E meglehetősen nyugtalanító megjegyzés után térjünk vissza a Föld bolygóra, és foglalkozzunk olyan dologgal, amelyet ismerünk – bár az olvasót valószínűleg nem fogja meglepni, amikor azt mondom, teljesen azért nem ismerjük ezt sem, és amit tudunk róla, azt sem régóta tudjuk.

12.
MEGMOZDUL A FÖLD

Albert Einstein 1955-ben bekövetkezett halála előtt talán utolsó tudományos tevékenységeként rövid, de ragyogó bevezetést írt Charles Hapgood geológus *Earth's Shifting Crust: A Key to Some Basic Problems of Earth Science* (Az elmozduló földkéreg: Megoldás a földtudományok néhány alapvető problémájára) című könyvéhez. Hapgood könyve egyszer s mindenkorra megpróbált leszámolni a gondolattal, hogy a földrészek folyamatos mozgásban vannak. Hapgood szinte felszólítja az olvasót, hogy vele együtt jóindulatúan mosolyogja meg azt a néhány könnyen hívő szerencsétlent, aki „látható összefüggést talált egyes földrészek alakja között". Úgy tűnhet, folytatja, hogy „Dél-Amerikát össze lehetne tolni Afrikával, és így tovább... Még azt is állítják, hogy az Atlanti-óceán két partján egymásnak megfelelő sziklaképződmények vannak."

Mr. Hapgood gyorsan elvetette az ilyen gondolatokat, arra hivatkozva, hogy C. E. Caster és J. C. Mendes geológusok alaposan megvizsgálták az Atlanti-óceán mindkét partját, és nem találtak hasonlóságot. Ki tudja, hogy Caster és Mendes urak milyen véletlenül kibukkant kőzetrétegeket vizsgálhattak; valószínűleg nem a legjellemzőbbeket, mert azóta kiderült, hogy a két partvidék sziklaképződményei között nagyon sok egyezést találni – nem egyszerűen hasonlóságot, hanem egyezést.

Ez a gondolat nem tetszett Hapgoodnak, de kora sok más geológusának sem. Az általuk folyamatosan tagadott elmélet először 1908-ban, egy amerikai amatőr geológus agyából pattant ki. Frank Taylor gazdag családból származott, ezért megvolt rá a lehetősége, hogy saját anyagi eszközeivel, mindenféle tudományos szervezettől függetlenül, folytasson kutatásokat. Őt is, mint előtte már másokat, megragadta a két földrész szemközti partvonalának hasonlósága, és ebből arra következtetett, hogy a kontinensek valamikor eltávolodhattak egymástól. Azt állította – és ezzel szinte a jövőbe látott –, hogy a földrészek összeszorulása hozhatta létre a hegyláncokat. Sajnos erre nem sikerült bizonyítékot találnia, és az elméletet elvetették, mint olyan agyszüleményt, amely nem érdemel komoly tudományos figyelmet.

Németországban viszont a Magdeburgi Egyetemen egy Alfred Wegener nevű meteorológus felfigyelt a gondolatra, sőt magáévá is tette. Wegener azokat a növényekkel és őskövületekkel kapcsolatos jelenségeket vizsgálta, amelyek nem illettek bele a Föld akkor elfogadott történetébe, és úgy találta, hogy nagyon sok ilyen van. Hasonló állatfosszíliák bukkantak fel az óceánok szemközti partján, olyan távolságra egymástól, amelyet nyilvánvalóan nem lehet átúszni. Hogyan kerültek a dél-amerikai erszényesek Ausztráliába? Hogyan lehetséges, hogy ugyanolyan csigák voltak Skandináviában, mint New Englandben? És hogyan lehet megmagyarázni a kőszénrétegeket és más szubtrópusi képződményeket az olyan fagyos helyeken, mint a Spitzbergák, amely több mint 600 kilométerre van északra Norvégiától? Csak nem vándoroltak oda az állatok a nekik megfelelőbb meleg éghajlatú helyekről?

Wegener elmélete szerint a világ földrészei egykor egyetlen kontinenst képeztek, a Pangaeát, ahol a növények és az állatok összekeveredhettek, mielőtt több földrészre szakadt, és ezek elfoglalták jelenlegi helyüket. Gondolatát *Entstehung der Kontinente Und Ozeane* (A kontinensek és óceánok eredete) című könyvben fejtette ki, amely 1912-ben jelent meg Németországban, és – bár közben kitört az első világháború – három évvel később Angliában is.

A háború miatt Wegener elméletére kezdetben nem sokan figyeltek fel, de 1920-ra, amikor megje-

lent a javított, bővített változat, gyorsan a tudományos viták középpontjába került. Mindenki egyetértett abban, hogy a földrészek mozognak – de függőlegesen, nem vízszintesen. A függőleges mozgás, az izosztázia már több geológusnemzedék gondolkodásának alapja volt, bár senki nem tudta, hogyan és miért történik. Egy elképzelés élt, ami még az én gyerekkoromban is bekerült a tankönyvekbe. Az osztrák Eduard Suess-nek a századforduló környékén jutott eszébe a „sült alma" elmélet, amely szerint az olvadt Föld lehűlése során a felszín ráncosodott, mint a sült alma héja, és ebből keletkeztek az óceánok medencéi és a hegyláncok. Úgy látszik, elfelejtette, amit James Hutton már jóval korábban bebizonyított: hogy egy ilyen statikus folyamat végül egyenletes gömböt hozna létre, hiszen az erózió előbb-utóbb kisimítaná a kiemelkedéseket és kitöltené a lyukakat. Rutherford és Soddy még a század elején kimutatta, hogy a föld mélye hatalmas hőmennyiségeket tárol, túl sokat ahhoz, hogy a Föld a Suess által gondolt módon hűlhetett volna ki. De egyébként is, ha a sültalma-elmélet igaz lenne, a hegyek egyenletesebben borítanák be a felszínt, mint ahogyan azt teszik, és nagyjából hasonló korúak lennének; azt viszont már a XIX. század elején tudták, hogy egyes hegységek, például az Ural és az Appalache több millió évvel korábban keletkeztek másoknál, például az Alpoknál vagy a Sziklás-hegységnél. Világos volt tehát, hogy kell egy új elmélet. Sajnos a geológusok azonban ezt nem egy olyan embertől várták, amilyen Alfred Wegener volt.

Először is, ő megkérdőjelezte a geológia addigi alapelveit; ez mindig rossz kezdet, ha meg akarjuk nyerni a többiek rokonszenvét. Ha legalább maga is geológus lett volna, talán valahogyan lenyelik ezt a békát, de Wegenernek nem volt ilyen képzettsége. Könyörgöm, csak egy meteorológus! Levelibéka – és ráadásul német is. Ezeken a hiányosságokon nem lehetett javítani.

Ezért a geológusok minden követ megmozgattak, hogy Wegener bizonyítékait figyelmen kívül hagyják, elképzeléseit pedig nevetség tárgyává tegyék. Az ősmaradványok különleges eloszlására kitaláltak mindenféle régen megszűnt földhidakat, ahol csak szükség volt rájuk. Amikor kiderült, hogy valamikor régen egyszerre élt egy Hipparion nevű ősló Franciaországban és Floridában, gyorsan kitaláltak egy földnyelvet, amely átszelte az Atlanti-óceánt. Amikor rájöttek, hogy egy őstapírfaj ugyanakkor létezett Dél-Amerikában, mint Délkelet-Ázsiában, akkor oda is húztak egy földnyelvet. Ezért a történelem előtti korok térképén a tengereket hamarosan szinte ellepték a feltételezett földnyelvek, Észak-Amerikából Európába, Brazíliából Afrikába, Délkelet-Ázsiából Ausztráliába, Ausztráliából az Antarktiszra. Ezek a kellemes összeköttetések gyorsan előbukkantak, amikor egy élőlényt az egyik földrészről a másikra kellett költöztetni, majd utána udvariasan, nyom nélkül el is tűntek. Az egészet persze semmiféle bizonyíték nem támasztotta alá, mégis ez volt a geológiában a szentírás egészen a XX. század közepéig.

Voltak jelenségek, amelyeket még a földhidakkal sem lehetett megmagyarázni. Van egyfajta háromkaréjú rák, amelyet jól ismertek Európában, de azt is tudjuk, hogy egykor Új-Fundlandon is élt, de annak csak az egyik oldalán. Senki nem tudta meggyőzően elmagyarázni, hogyan kelt át a majdnem 5000 kilométeres óceánon, és utána miért nem mászott át egy 300 kilométer széles sziget egy másik sarkába. Még nagyobb az ellentmondás egy másik háromkaréjú rákfajnál, amely megtalálható Európában és a Csendes-óceán Amerikától északnyugatra fekvő részein, de a kettő között sehol sem. Az Encyclopaedia Britannicának még az 1964-es kiadásában is, ahol a szerzők egymás mellett tárgyalják a különféle geológiai elméleteket, csak Wegenerénél jegyzik meg, hogy tele van „rengeteg elméleti problémával". Ez igaz is, Wegener valóban követett el hibákat. Azt állította, hogy Grönland évente 1,6 kilométert tesz meg nyugat felé, ami teljes lehetetlenség. (A valódi érték inkább egy centiméter körül van.) Mindenekfelett azonban az volt a gond, hogy nem tudta meggyőzően elmagyarázni, hogyan mozog

a föld. Ahhoz, hogy elméletét elhiggyék, el kellett volna fogadtatnia, hogy a hatalmas földrészek valahogyan áttörnek a földkérgen, mint ahogyan az eke a szántóföldön, csak éppen nem hagynak barázdát maguk után. Akkoriban nem volt magyarázat arra, hogyan történnek ezek a hatalmas mozgások.

A kérdést végül Arthur Holmes oldotta meg, egy angol geológus, aki rengeteget tett a Föld korának meghatározásáért. Elsőként jött rá, hogy a radioaktív melegedés hogyan hoz létre hőáramlásokat a Föld belsejében. Ezek elméletileg elég erősek ahhoz, hogy a földrészeket elmozdítsák a felszínen. 1944-ben megjelent népszerű, nagy hatású, *Principles of Physical Geology* (A fizikai geológia alapelvei) című tankönyvében Holmes leírta a szárazföldek eltolódásának elméletét, amelynek az alapjai még ma is helytállók. Akkoriban nagyon radikális állítás volt ez, és széles körben bírálták, főként az Egyesült Államokban, ahol még sokáig a régi elmélet maradt érvényben. Az egyik amerikai bíráló azon bosszankodott, mindenféle gúny nélkül, hogy Holmes olyan világosan és impozánsan adta elő a szárazföldek eltolódásának elméletét, hogy a diákok könnyen el fogják hinni. Máshol az új elméletet azonnal, bár óvatosan, támogatták. 1950-ben a Brit Társaság a Tudomány Haladásáért éves találkozóján rendezett szavazáson kiderült, hogy a jelenlévőknek körülbelül a fele elfogadja az új elméletet. (Hapgood nem sokkal később ezt a tényt annak bizonyítására hozta fel, hogy milyen tragikusan félrevezették az angol geológusokat.) Holmes különösképpen maga is megingott néha meggyőződésében. 1953-ban beismerte: „Soha nem tudtam teljesen megszabadulni a szűnni nem akaró előítélettől az elmélettel szemben; de, hogy úgy mondjam, geológusi csontjaimban néha úgy érzem, fantasztikus elképzelés.”

A földrészek vándorlási elméletének azért az Egyesült Államokban is akadtak támogatói. A Harvardon például Reginald Daly volt az elmélet híve, sajnos ő ugyanaz az ember, aki felvetette, hogy a Hold egy kozmikus becsapódás eredményeként keletkezett, és gondolatait érdekesnek, sőt néha említésre méltónak tartották. Dalyről azt gondolták, kicsit túl dús fantáziájú, ezért ötletei nem képezhetik komoly megfontolás tárgyát. Ezért a legtöbb amerikai tudós maradt a hiténél, hogy a szárazföldek mindig is ugyanígy helyezkedtek el, felületüket pedig biztos, hogy nem vízszintes irányú mozgás alakította.

Érdekes, hogy az olajtársaságok geológusai ekkor már évek óta tudták, hogy ha olajat akarnak találni, akkor éppen a lemeztektonika által létrehozott felszíni mozgásokat kell kihasználniuk. De ezek a geológusok nem írtak tudományos cikkeket; ők csak olajat kerestek.

Volt még egy nagy gond a Földdel kapcsolatos elméletekkel, amelyet senki nem oldott meg, sőt a megoldás közelében sem jártak. Arról a kérdésről van szó, hogy vajon hová kerül az üledék. A Föld folyói évente hatalmas tömegű anyagot sodortak magukkal az erózió miatt – például 500 millió tonna meszet – a tengerekbe. Ha beszorozzuk ezt a mennyiséget az eltelt évek számával, zavarba ejtő értéket kapunk: körülbelül 20 kilométer vastag üledékrétegnek kellene borítania az óceánok fenekét, ezért azok jóval a földfelszín fölé emelkednének. A geológusok ezt a tényt a lehető legügyesebben kezelték: nem törődtek vele. De elérkezett egy pont, amikor ez a viselkedés már nem volt tartható.

A második világháborúban egy Harry Hess nevű princetoni ásványtudós lett egy tengeri útra felszerelt és felfegyverzett amerikai szállítóhajó, a Cape Johnson kapitánya. A hajó felszereléséhez tartozott egy elsőrangú új visszhangos mélységmérő a partközeli manőverekhez, például a partraszálláshoz, de Hess hamar rájött, hogy azt tudományos célra is használni lehetne. Ki sem kapcsolta, még a nyílt tengeren sem, sőt még csata közben sem. Egészen váratlan dolgot talált. Ha az óceán feneke olyan régi, amilyennek mindenki tartja, teljesen be kellene, hogy lepje az üledék, mint az iszap a folyók és tavak medrét. De Hess most azt tapasztalta, hogy az óceán feneke mindennek nevezhető, csak éppen nyúlós

iszapnak nem. Mindenütt szurdokok, árkok és szakadékok mintázták, közben egy-egy vulkáni heggyel, amelyeket guyotoknak nevezett el egy korábbi princetoni geológus, Arnold Guyot után. Az egész egy nagy kérdőjel volt, amit Hess meg akart válaszolni, de a háború miatt nem foglalkozhatott a problémával.

A háború után visszatért a Princeton Egyetemre, és folytatta a tanítást, de a tengerfenék rejtélye mindig a fejében motoszkált. Időközben az 1950-es évek oceanográfusai egyre fejlettebb eszközökkel vizsgálták az óceánok aljzatát. Ők még nagyobb meglepetést találtak: a Föld leghatalmasabb, legkiterjedtebb hegysége – legnagyobbrészt – víz alatt van. Nyomvonala végighalad a világ tengerfenekein, mintha egy teniszlabdát gurítanánk végig bennük. Ha Izlandnál kezdjük, és dél felé haladunk, látjuk, hogy végighalad az Atlanti-óceán közepén, körüljárja Afrika déli partjait, átmegy az Indiai- és a Déli-óceánokon, majd Ausztrália alatt átvonul a Csendes-óceánon, először Kalifornia felé irányulva, majd élesen északra haladva az Egyesült Államok nyugati partja mentén, egészen Alaszkáig. Egy-egy nagyobb csúcsa szigetként vagy szigetcsoportként kiemelkedik a vízből – ilyenek például az Azori- és Kanári-szigetek az Atlanti-óceánon, vagy a Csendes-óceánban Hawaii –, de a legtöbb helyen sok ezer méternyi sós víz borítja, ezért maradhatott ilyen sokáig ismeretlen. Ha minden elágazását hozzászámítjuk, az egész hegység hossza 75 000 kilométer.

Ezt nagyon sokáig senki nem tudta. A XIX. században, amikor víz alatti kábeleket fektettek le, a munkálatokat végzők a kábelek fekvéséből észrevették, hogy valamiféle tenger alatti hegy van az Atlanti-óceán közepén, de ennek folytonos mivolta és hihetetlen nagysága meglepetésként hatott. Azonkívül újabb fizikai problémák is felmerültek. Az Atlanti-óceán közepén lévő hegylánc közepén volt egy 20 kilométer széles, 19 000 kilométer hosszú szurdok vagy szakadék. Ez pedig arra utalt, hogy a Föld szétszakad, mint amikor egy mag kibújik a héjából. Képtelen és nyugtalanító gondolat.

1960-ban a fúrómináták vizsgálata azt mutatta, hogy az óceán feneke egészen fiatal a fent említett tenger alatti hegységben, de ha onnan keleti vagy nyugati irányban eltávolodva vesznek mintát, fokozatosan egyre öregebb kőzeteket találnak. Harry Hess elgondolkodott ezen, és rájött, hogy csak egy magyarázat lehetséges: a középső hegység mindkét oldalán új óceáni kéreg képződik, amelyet a később képződő, még újabb kéreg előretol. Az Atlanti-óceán feneke tulajdonképpen két futószalag; az egyik az új kérget Észak-Amerika, a másik Európa felé szállítja. A folyamat neve óceánfenék-szétterjedés lett.

Amikor a kéreg útja végére ér az óceán partján, visszatömődik a Földbe, ez az alábukás vagy szubdukció. Tehát itt kell keresnünk a rengeteg üledéket! Visszatér a Föld mélyébe. Az is világossá vált, hogy miért tűnik az óceánfenék mindenhol ilyen viszonylag fiatalnak. Senki nem talált ugyanis még 175 millió évesnél öregebbet, és ez furcsa volt, hiszen a szárazföldi kőzetek gyakran több milliárd évesek. Hess végre tudta, hogy miért. Az óceánban csak addig maradnak a kőzetek, amíg ki nem jutnak a part közelébe. Gyönyörű elmélet, ami sok mindent megmagyaráz. Hess egy fontos cikkében még jobban kidolgozta érveit, a cikket azonban szinte senki nem olvasta. Néha a világ egyszerűen nem áll még készen az igazán jó ötletek befogadására.

Közben két, egymástól függetlenül dolgozó kutató érdekes következtetéseket vont le abból a furcsa földtörténeti tényből, amelyet több évtizeddel előttük fedeztek fel. 1906-ban Bemard Brunhes francia fizikus észrevette, hogy a Föld mágneses tere időnként megfordul, és ezeknek a fordulásoknak a nyomát meg lehet találni egyes, akkor született kőzetekben. Arról van szó, hogy a kövekben lévő vasércszemcsék mindig arra mutatnak, amerre a mágneses pólus éppen van, amikor kialakulnak, és így is maradnak, miközben a kő kihűl és megszilárdul. Így „emlékeznek” arra, hogy a mágneses pólusok hol

helyezkedtek el születésükkor. Hosszú éveken keresztül ez csupán egy apró tudományos érdekesség volt. Az 1950-es években azonban Patrick Blackett a Londoni Egyetemről és S. K. Runcorn a Newcastle-i Egyetemről az angol kőzetekbe fagyott régi mágneses mintázatokat tanulmányozva csodálkozva vette észre, hogy a kövek tanúsága szerint valamikor a távoli múltban Britannia megfordult a tengelye körül, és észak felé húzódott, mintha eltépte volna a horgonyláncát. Sőt, arra is rájöttek, hogy ha Európa mágneses mintázatait a velük egy időből származó amerikaiak mellé tesszük, olyan szépen összeillenek, mintha egy kettétépett levél két darabját illesztenénk egymáshoz. Már-már hátborzongató volt. Az ő eredményeikre sem figyelt senki.

Egy geológus és a diákja bizonyították végül be egyértelműen az elméletet. A helyszín a Cambridge Egyetem, a tanár Drummond Matthews geofizikus, a diplomás hallgató Fred Vine. 1963-ban az Atlanti-óceán fenekének mágneses térképei alapján meggyőzőn bemutatták, hogy a tengerfenék éppen úgy terjed, ahogyan azt Hess elképzelte, és hogy a földrészek is mozgásban vannak. Egy szegény kanadai geológus, Lawrence Morley ugyanekkor jutott ugyanerre a következtetésre, de nem talált senkit, aki a cikkét hajlandó lett volna megjelentetni. A *Journal of Geophysical Research* szerkesztője ridegen visszautasította a következő szavakkal: „Az ilyen elmélkedéseknek a koktélpartikon a helye, nem a komoly tudomány égisze alatt.” Később egy másik geológus erről így nyilatkozott: „Valószínűleg ez volt a földtudományokról valaha írt legfontosabb dolgozat, amelyet visszautasítottak.”

Mindenesetre végre eljött a mozgó földkéreg ideje. A téma legfontosabb művelői közül számosan részt vettek a szimpóziumon, amelyet a Királyi Társaság védnöksége alatt rendeztek 1964-ben Londonban, és úgy tűnt, hogy hirtelen mindenki az új elmélet híve lett. A tanácskozáson mindenki egyetértett abban, hogy a Föld szorosan összefüggő részekből áll, amelyek különféle méltóságteljes taszigálása magyaráz sok mindent, ami a bolygó felszínén történik.

A kontinensvándorlás kifejezést hamarosan elvetették, hiszen kiderült, hogy az egész földkéreg mozgásban van, nem csak a földrészek, de eltartott egy ideig, amíg megtalálták a megfelelő elnevezést. Az elmozduló részek neve először kéregblokk vagy utcakő lett. Csak 1968 végén kapták meg tisztességes nevüket, amikor három amerikai földrengéskutató cikke megjelent a *Journal of Geophysical Research* folyóiratban. Azóta is lemezeknek nevezzük őket, a velük foglalkozó tudományt pedig lemeztektonikának.

A régi elképzelésektől nehéz megszabadulni, és nem mindenki fogadta örömmel az izgalmas új elméletet. A tiszteletreméltó Harold Jeffreys, a *The Earth* (A Föld) című népszerű és irányadó földtudományi tankönyv szerzője még a hetvenes években is ragaszkodott ahhoz az elképzeléséhez, hogy a lemeztektonika fizikai képtelenség, és könyvének ez a része az 1924-es első kiadás óta nem változott. Ugyanígy elvetette a hőáramlás és az óceánfenék szétterjedésének lehetőségét is. John McPhee 1980-ban megjelent *Basin and Range* (Medence és hegylánc) című művében azt írja, hogy nyolc geológus közül egy még mindig nem hisz a lemeztektonikában.

Ma már tudjuk, hogy a Föld felszíne 8-12 nagy és körülbelül húsz kisebb kőzetlemezből áll (attól függően, hogy mit tekintünk nagynak). Ezek mind különböző irányban, különböző sebességgel haladnak. Vannak nagy és nem sokat mozduló, és kisebb, fürgébb lemezek. Az északamerikai kőzetlemez például sokkal nagyobb, mint a rajta elhelyezkedő földrész. Nyugati széle nagyjából megfelel a földrész nyugati partvonalának (ezért van ott olyan sok földrengés, amikor a kőzetlemezek összeütköznek), de keleti határa az Atlanti-óceán közepén húzódó hegyláncnál van. Izland közepén húzódik egy határ, ezért lemeztektonikai értelemben csak félig tartozik Európához, a másik fele Amerika. Új-Zéland a hatalmas Indiai-óceáni kőzetlemez része, pedig onnan elég messze van. És így tovább, a legtöbb le-

mez esetében.

A földrészek mai és régi elhelyezkedése között sokkal bonyolultabb kapcsolatok állnak fenn, mint bárki képzelte volna. Kiderült, hogy Kazahsztán régebben Norvégiához és New Englandhez kapcsolódott. A Staten-sziget egyik sarka, de csak ez, Európa része volt, csakúgy, mint Új-Fundland egy része. Ha felszedünk egy kavicsot egy massachusettsi tengerparton, biztosak lehetünk benne, hogy legközelebbi rokonát Afrikában találnánk meg. A Skót-felföld és Skandinávia nagy része főként Amerikából származik. Az antarktiszi Shackleton-hegység egyes részei lehet, hogy régebben az északkelet-amerikai Appalache-hegységhez tartoztak. A kövek tehát sokfelé megfordulnak a világban.

A kőzetlemezek az állandó kavarodás miatt nem állnak össze egy nagy mozdulatlan lemezzé. És ha a dolgok így folytatódnak, az Atlanti-óceán addig fog terjedni, amíg nagyobb nem lesz a Csendes-óceánnál. Kalifornia nagy része el fog úszni, és olyan lesz, mint Madagaszkár a Csendes-óceánon. Afrika északra tolódik, Európába, megszűnik a Földközi-tenger, és felgyűrődik egy Himalája nagyságú hegység Párizstól Kalkuttáig. Ausztrália begyűjti a tőle északra fekvő szigeteket, és valamiféle földszoroson át össze lesz kötve Ázsiával. Ezek az események persze sokára fognak bekövetkezni, de a folyamat most is zajlik; miközben mi itt ülünk, a földrészünk úgy úszik, mint a falevél egy tó felszínén. GPS-szel (Global Positioning System, globális helymeghatározó rendszer) megállapíthatjuk, hogy körülbelül olyan sebességgel távolodnak egymástól, ahogyan a körmünk nő, tehát egy emberélet alatt körülbelül két méterrel. Ha lenne rá időnk, eljuthatnánk Los Angelesből San Franciscóba. Csak az emberi élet rövidsége miatt nem tapasztalhatjuk meg a változásokat. Ha egy földgömbre nézünk, tulajdonképpen egy pillanatfelvételt látunk; azt, hogy milyen is bolygónk a földtörténet legutóbbi egy ezrelékében.

A szilárd bolygók közül egyedül a Földnek van tektonikája. Hogy ez miért van, nem tudjuk. Az biztos, hogy nem csak méret vagy sűrűség kérdése, hiszen a Vénusz mindkét szempontból nagyon hasonlít a Földhöz, mégsem tapasztalható rajta tektonikus mozgás, de lehet, hogy éppen ilyen anyagok kellenek éppen ilyen arányban ahhoz, hogy egy bolygó „bugyogjon”. Vannak, akik úgy gondolják, hogy a lemeztektonika fontos ahhoz, hogy egy bolygón élet alakuljon ki. James Trefil fizikus és író szavaival élve „nehezen hinném el, hogy a tektonikus lemezek mozgása nincsen hatással az élet földi kialakulására”. Azt veti fel, hogy a tektonikus változások – például az éghajlatváltozás – egyre újabb kihívásokat jelentenek, és ezzel segítik elő a gondolkodó lények kifejlődését. Mások úgy gondolják, hogy a földrészek mozgása okozhatta a Földön előfordult különféle fajkihalások legalább egy részét. 2002 novemberében a Cambridge Egyetemen dolgozó Tony Dickson tollából megjelent egy cikk a Science magazinban arról, hogy kapcsolat lehet a kőzetek és az élet története között. Dickson leírja, hogy a világ óceánjainak kémiai összetétele többször is váratlanul, drámai módon megváltozott az utolsó félmilliárd évben, és ezek a változások gyakran egybeesnek az élővilág történetének fontos eseményeivel – az apró lények tömeges megjelenése krétasziklákat hozott létre Anglia déli partján, a kambriumban hirtelen megnőtt a mészvázú tengeri fajok száma, és így tovább. Senki nem tudja, mitől változik meg időnként gyökeresen az óceánok kémiai összetétele, de az óceáni hátságok nyílása és csukódása lenne a kézenfekvő ok.

A lemeztektonika mindenesetre nemcsak a Föld felszíni változásait magyarázta meg – például hogy az ősló hogyan jutott Franciaországból Floridába –, hanem sok belső folyamatot is. A földrengéseket, a szigetláncok kialakulását, a szén körforgását, a hegységek elhelyezkedését, az ismétlődő jégkorszakokat, sőt az élet eredetét is – szinte nem is találunk olyan folyamatot, amelyre ne lett volna hatással ez a figyelemre méltó új elmélet. A geológusok, McPhee megjegyzése szerint, olyan szédítő helyzetbe

kerültek, ahonnan „átlátták az egész Föld működését”.

De csak egy határig. Arról, hogy a földrészek régebben hogyan helyezkedtek el, sokkal kevesebbet tudunk, mint azt egy nem geofizikus gondolná. Bár a tankönyvekben nagy magabiztossággal megrajzolt ábrákat látunk az olyan ősmasszívumokról, mint Laurázsia, Gondvana, Rodinia és Pangaea, ezek létezése gyakran olyan feltételezéseken alapul, amelyekre nincsen bizonyíték. Mint George Gaylord Simpson megjegyzi *Fossils and the History of Life* (Az őskövületek és az élet története) című könyvében, az óvilág állat- és növénymaradványai valahogy mindig ott bukkannak fel, ahol nem kellene, és soha nem találhatók ott, ahol számítanánk rájuk.

Gondvana, a régen hatalmas, a mai Ausztráliát, Afrikát, Antarktiszt és Dél-Amerikát magában foglaló földrész körvonalát nagyrészt egy sok helyen megtalált ősi magvaspáfrány-faj, a Glossopteris előfordulása alapján állapították meg. Sajnos később találtak ilyen őskövületet a világ olyan részein is, amelyekről nem hitték, hogy köze lehetett Gondvanához. Ezt a zavaró ellentmondást még ma sem tudják feloldani, ezért figyelmen kívül szokták hagyni. Volt egy triász kori hüllő, a Lystrosaurus, amely előfordult az Antarktisztól egészen Ázsiáig, és ez bizonyítani látszott, hogy régebben összeköttetés állt fenn a földrészek között, ugyanakkor Dél-Amerikában és Ausztráliában nem találtak ilyet, pedig azok is ugyanannak a feltételezett kontinensnek a része voltak.

Sok felszíni jelenség is van, amelyeket nem lehet a tektonikával magyarázni. Jó példa erre Denver. Mint mindenki tudja, a város ezerhatszáz méter magasan fekszik, de nem is olyan régóta. Amikor még dinoszauruszok uralták a Földet, Denver az óceán fenekén feküdt, sok ezer méter mélyen. Viszont a Denver alatti kőzetrétegekben nincsen deformáció, pedig ilyeneknek kellene lenniük, ha Denvert az összeütköző kőzetlemezek emelték volna a magasba, és Denver amúgy is túl messze volt a lemez szélétől ahhoz, hogy hassanak rá az ott történő folyamatok. Ez olyan valószínűtlen, mintha úgy akarnánk egy szőnyeg szélén egy ráncot létrehozni, hogy megtoljuk a szemközti szélét. Titokzatos módon néhány millió év alatt Denver mégis kiemelkedett, mint egy sülő cipó. Ugyanez történt Dél-Afrika nagy részével is; egy 1600 kilométer széles része körülbelül másfél kilométert emelkedett százmillió év alatt, és nem tudunk semmiféle tektonikai folyamatról, amely ezt okozhatta volna. Ausztrália pedig közben megdőlt és süllyedt. Az elmúlt százmillió év során, miközben Ázsia felé sodródott, északi partvonala majdnem 200 métert süllyedt. Úgy tűnik, Indonézia lassan elmerül, és magával fogja húzni Ausztráliát is. És ezek közül semmi nem magyarázható a tektonika elméletével.

Alfred Wegener nem élte meg elméletének elismerését. Egy 1930-as grönlandi expedíció során, ötvenedik születésnapján, egyedül indult el egy ledobott ellátmány ellenőrzésére, és nem tért vissza. Néhány nap múlva megtalálták a jégen, összefagyva. Helyben temették el, és még mindig ott nyugszik, de körülbelül egy méterrel közelebb Észak-Amerikához, mint halála napján.

Einstein sem élte meg annak bizonyítását, hogy rossz (ős)lóra tett. 1955-ben halt meg a New Jersey állambeli Princetonban, még mielőtt megjelent volna Charles Hapgood szárazföld-elmozdulási elméletet pellengérre állító könyve.

A lemeztektonika-elmélet másik főszereplője, Harry Hess is ott volt akkor Princetonban, és ott is maradt pályafutása végéig. Egyik diákja, a kiváló Walter Alvarez is megváltoztatta a tudományos világot, de egészen másképpen.

A geológia világában pedig csak most kezdődött a teljes felfordulás, és a folyamatot az ifjú Alvarez indította el.

IV.
A VESZÉLYES BOLYGÓ

„A Föld bármely részének története olyan, mint a katona élete: hosszú, unalmas időszakok, néha-néha megszakítva egy rövid rettegéssel.”
Derek V. Ager brit geológus

13.
BUMM!

Az emberek már régóta tudták, hogy az Iowa állambeli Manson alatt a föld furcsán viselkedik. 1912-ben egy városi kutat fúrtak, és a kútásó furcsán elformátlanodott köveket hozott a felszínre. A hivatalos jelentésben ezek mint „olvadt kristályrácsú breccsatörmelék" és „kifordult lávakőzetdarab" szerepeltek. A víz is furcsa volt, majdnem olyan lágy, mint az esővíz. Iowában korábban még soha nem találtak természetesen előforduló lágy vizet.

Bár Manson különös kövei és selymes vize érdekes volt, csak negyvenegy évvel később jutott eszébe az Iowai Egyetem geológusainak, hogy az állam északnyugati részében fekvő, ma is és akkor is kétezres lélekszámú városkába utazzanak. 1953-ban egy sorozat kísérleti fúrás után a geológusok kijelentették, hogy a helyszín valóban érdekes; a furcsa köveket valamilyen régi vulkanikus tevékenység eredményének tartották. Ez megfelelt a korabeli földtudományi nézeteknek, de akkora tévedés volt, amekkorát csak a geológiában tévedni lehet.

A Mansont alakító erők ugyanis nem a Föld belsejéből származtak, hanem legalább másfél száz millió kilométerrel távolabbról. Valamikor nagyon régen, amikor Manson még egy sekély tenger partján állt, egy körülbelül két kilométer átmérőjű, 10 milliárd tonna súlyú szikla a hangsebességnek körülbelül kétszázszorosával áttörte a Föld légkörét, és elképzelhetetlen erővel és gyorsasággal csapódott a földbe. A mai Manson helyén azonnal egy öt kilométer mély, körülbelül harmincöt kilométer széles bemélyedés keletkezett. Az Iowa más vidékein jellemző mészkő, amely miatt az államban olyan nagy ásványianyag-tartalmú, tehát kemény a víz, megsemmisült, és helyette felszínre kerültek az alaphegységi kőzet darabjai, amelyek a kútfúrót ámulatba ejtették 1912-ben.

Az Egyesült Államok szárazföldi részén a mansoni becsapódás volt a valaha tapasztalt legheve-sebb kívülről érkező hatás. Akkora kráter maradt utána, hogy csak nagyon tiszta időben lehetett volna ellátni az egyik peremétől a másikra. A Grand Canyon ehhez képest jelentéktelen apróság. Sajnos azonban a jégtakarók két és fél millió év alatt teljesen feltöltötték a Manson-krátert jégkori agyaggal, majd simára gyalulták, ezért ma Manson környéke olyan sima, mint egy asztallap. Ezért lehetséges, hogy senki nem hallott a Manson-kráterről.

A Mansoni Könyvtárban szívesen megmutatják az 1991-1992-es fúrási programról szóló újságcikkeket, és van egy doboz fúrómag-mintájuk is, de nincsen semmiféle állandó kiállítás vagy emlékhely.

A mansoni polgárok életében a legnagyobb esemény egy tornádó volt, ami 1979-ben söpört végig a főutcán, és romba döntötte az üzleti negyedet. A sík vidék nagy előnye, hogy messziről látni, ha baj közeleg. Szinte az egész város kint állt a főutca végén, és fél órán át figyelték a közelgő tornádót abban a reményben, hogy az irányt változtat, majd amikor látták, hogy nem így történik, volt idejük elmenekülni, kivéve négy lakost, akik halálukat lelték a szélviharban. Ma Mansonban minden júniusban tartanak egy úgynevezett kráterhétvégét, hogy elfelejtsék az 1979-es szerencsétlenséget. Az ünnepségnek tulajdonképpen semmi köze a kráterhez. Senki nem jött még rá, hogyan lehetne hasznosítani a becsapódás helyszínét, ami sajnos mélyen a föld alatt rejtőzik.

– Néha idetéved néhány érdeklődő, aki a krátert keresi, és amikor közöljük velük, hogy sajnos semmi nem látható belőle, csalódottan távoznak – nyilatkozta Anna Schlapkohl, a városka barátságos könyvtárosa.

A legtöbb ember azonban – és ide tartozik Iowa lakosainak túlnyomó többsége is – még soha nem hallott a Manson-kráterről. A jelenség még a geológusok szemében sem több egy lábjegyzetnél. De az 1980-as években egy rövid ideig Manson volt a Föld geológiai szempontból legizgalmasabb helye.

A történet az 1950-es évek elején kezdődött, amikor egy Eugene Shoemaker nevű tehetséges fiatal geológus meglátogatta az arizonai meteoritkrátert. Ma ez a Föld leghíresebb becsapódási helyszíne, és egyben népszerű turistalátványosság is. Akkoriban azonban nem látogatták sokan, és gyakran Barringer-kráterként emlegették, Daniel M. Barringer gazdag bányamérnök után, aki azt az államtól 1903-ban megvásárolta. Barringer úgy gondolta, a kráter egy magas nikkel- és vasérctartalmú, tízmillió tonnás meteorit becsapódásának következménye, és arra számított, meggazdagodhat, ha kibányássza. Nem volt vele tisztában, hogy a meteorit becsapódásakor apró részeire morzsolódik, és egy kisebb vagyont költött a következő huszonhat évben a próbálkozásokra.

Mai szemmel nézve a XX. század elején a kráterkutatás még gyerekcipőben járt, és akkor még szelíden fogalmazunk. A leghíresebb kutató, G. K. Gilbert, a Columbia Egyetem professzora a becsapódásokat úgy modellezte, hogy üveggolyókat hajított egy tál zabkásába. (Nem tudom, miért, de kísérleteit nem az egyetemi laboratóriumban végezte, hanem egy szállodai szobában.) Ebből Gilbert valahogyan arra a következtetésre jutott, hogy a Hold kráterei meteoritbecsapódások hozták létre – ez meglehetősen radikális gondolat volt akkoriban – de a földieket nem. Legtöbb kollégájának azonban már ez is túl sok volt. Ők a holdkrátereket kialudt vulkánoknak tekintették, semmi többnek. A néhány megmaradt földi krátert (a többi az erózió áldozata lett) máshonnan származtatták, vagy figyelmen kívül hagyták, mint afféle véletlen ritkaságokat.

Amikor Shoemaker megjelent a színen, az volt az elfogadott nézet, hogy az arizonai meteoritkrátert föld alatti gőzök robbanása hozta létre. Shoemaker semmit nem tudott a föld alatti gőzrobbanásokról – nem is tudhatott, hiszen ilyenek nincsenek – viszont mindent tudott a robbantási zónákról. Diploma után az egyik első feladata a robbanási gyűrűk tanulmányozása volt egy nevadai nukleáris kísérleti bázison, Yucca Flatsben. Barringerhez hasonlóan ő is arra jutott, hogy semmi nem utal arra, hogy a krátert vulkáni tevékenység hozta volna létre, viszont nagy mennyiségű idegen anyag található a környékén, főként szabálytalan finomságú szilícium-dioxid és mágnesvasércek, amelyek valószínűsítik egy űrből érkezett test becsapódását. A dolog nem hagyta nyugodni, és szabad idejében elkezdte tanulmányozni a jelenséget.

Shoemaker először Eleanor Helin nevű kolléganőjével dolgozott, később pedig a feleségével, Carolynnal és asszisztensével, David Levyvel. Szisztematikusan végigvizsgálták a belső Naprendszert. Havonta egy héten keresztül a kaliforniai Palomar Csillagvizsgálóból kerestek olyan objektumokat, főként kisbolygókat, amelyek pályája metszi a Földét.

Shoemaker így beszélt erről néhány évvel később egy televízióriportban: „Amikor elkezdtük, alig egy tucat ilyen ismert objektumot figyeltek meg. A XX. századi csillagászok lényegében magára hagyták a Naprendszert, mert figyelmük a távolabbi csillagok és galaxisok felé irányult.”

Pedig Shoemaker és munkatársai hamarosan fontos dologra jöttek rá: odakint több, sőt jóval több veszély leselkedik ránk, mint gondoltuk volna.

A kisbolygók, mint az olvasó is bizonyára tudja, sziklás objektumok, amelyek a teret lazán kitöltve keringenek a Mars és a Jupiter közötti övezetben. A rajzokon úgy látszik, mintha nagyon sűrűn helyezkednének el, de valójában a Naprendszerben jó sok hely van, ezért a kisbolygók átlagos távolsága egymástól körülbelül másfél millió kilométer.

Még csak körülbelül sem tudjuk megmondani, hány kisbolygó kavarog az űrben, de valószínű, hogy

legalább egymilliárd. Ezek talán egy bolygó darabjai lehettek volna, ha összeállnak, de ez nem sikerült – és nem is fog – a Jupiter túl nagy tömegvonzása miatt.

Amikor a XIX. század első napján az első kisbolygót felfedezték (a szicíliai Giuseppe Piazzi látta meg), azt hitték, bolygó. Az első kettőt Ceres-nek és Pallasnak nevezték el. William Herschel csillagásznak sok leleményére volt szüksége, amíg rájött, hogy ezek sokkal kisebbek a bolygóknál. Aszteroidáknak nevezte el őket – ez a latin szó annyit jelent, „csillagszerű" – ami nem szerencsés név, hiszen egyáltalán nem csillagok. A magyar „kisbolygó" elnevezés sokkal pontosabb (angol megfelelője: planetoid).

A kisbolygókeresés a XIX. század kedvelt tevékenységévé vált, és a század végére körülbelül ezret találtak. A gond csak az volt, hogy senki nem vezetett róluk rendes nyilvántartást. A XX. század elejére gyakran előfordult, hogy egy éppen meglátott kisbolygóról nem tudták eldönteni, vajon új-e, vagy régebben valaki már felfedezte, csak nincsen róla feljegyzés. Az asztrofizika ekkor már odáig fejlődött, hogy nem sok csillagász akarta életét vacak, köves kisbolygókra pazarolni. Csak keveseket érdekelt a Naprendszer. Ilyen volt a holland származású Gerard Kuiper, akiről a Kuiper-övet, az üstökösök kedvelt tartózkodási helyét elnevezték. A texasi McDonald Csillagvizsgálóban végezte munkáját, amit később mások a Cincinnati Kisbolygó Központban és az arizonai Űrfigyelő Program során folytattak. Ennek köszönhetjük, hogy az elveszett kisbolygók hosszú listája fokozatosan zsugorodott, amíg a XX. század végére már csak egy – korábban egyszer már meglelt – kisbolygót nem találtak; a neve: 719 Albert. Utoljára 1911 októberében látták, és végül 2000-ben, nyolcvankilenc év után találták meg ismét. (A Hermes nevű kisbolygót sem találták sokáig 1937 után, de 2003-ban újra rábukkantak – *a lektor megjegyzése*.)

A kisbolygókutatás szempontjából a XX. század lényegében egy hosszú könyvelési gyakorlatnak tekinthető. A csillagászok valójában csak az utóbbi pár évben kezdték el megszámlálni és szemmel tartani a többi kisbolygót. 2001 júliusáig körülbelül 26 000 kisbolygót találtak és azonosítottak – ennek a felét az elmúlt két évben. Mivel hátravan még vagy egymilliárd, a munka csak most kezdődik.

Bizonyos értelemben ez nem nagy baj. Attól még, hogy egy kisbolygót ismerünk, az nem lesz biztonságos számunkra. Még ha a Naprendszer minden egyes kisbolygóját nevén tudnánk nevezni, és ismernénk pályáját, akkor sem lehetnénk biztosak abban, hogy egy hirtelen zavaró hatás nem löki-e azt felénk. Nem tudjuk előre jelezni az efféle becsapódásokat. Ezek a kisbolygók az űrben keringenek, és nem tudhatjuk, mi történhet velük. De bármelyik kisbolygóról, amit elneveztünk, bátran állíthatjuk, hogy más neve nincsen.

Képzeljük el, hogy a Föld pályája egy autóút, amelyen mi vagyunk az egyetlen jármű, de néha gyalogosok kelnek át rajta, akiknek nincsen elég eszük, hogy körülnézzenek, mielőtt lelépnek a járdáról. A gyalogosok legalább 90%-át nem ismerjük. Nem tudjuk, hol laknak, milyen a napirendjük vagy hogy milyen gyakran tévednek erre. Csak az a biztos, hogy bizonytalan időszakonként egyszer csak átkelnek az úton, amelyen mi óránkénti 100 000 kilométeres sebességgel száguldunk. A Sugárhajtás Laboratórium munkatársa, Steven Ostro ezt így fogalmazta meg: „Tegyük fel, hogy egy gomb megnyomásával ki tudnánk világítani az összes olyan tíz méteresnél nagyobb kisbolygót, amely keresztezi a Föld pályáját. Több mint százmillió ilyen fénylene az égen." Tehát nemcsak pár ezer távoli pislákoló csillagot látnánk, hanem sok-sok millió a közelünkben lévő, véletlenszerűen mozgó égitestet, „amelyek közül bármelyik összeütközhet a Földdel, és amelyek mind más pályán, más sebességgel szelik át az égboltot. Idegesítő lenne." És van is okunk az idegességre, csak nem látjuk.

Mindent figyelembe véve – bár ez csak egy becslés a Holdon történő kráterképződés alapján – kö-

rülbelül kétezer olyan méretű kisbolygó van, amelyek veszélyeztethetik létünket, mert rendszeresen keresztezik a Föld pályáját. De még egy ennél kisebb kisbolygó – mondjuk egy akkora, mint egy ház – is elpusztíthat egy egész várost. Az ilyen viszonylag kicsi, de a Földet mégis veszélyeztető kisbolygók száma nagyon valószínű, hogy több százezer, de lehetnek akár millióan is, és szinte lehetetlen megfigyelés alatt tartani őket.

Az elsőt 1991-ben észlelték, miután már elhaladt mellettünk, a Földtől 170 000 kilométerre. 1991 BA lett a neve ennek a kisbolygónak, amivel kozmikus értelemben olyan szerencsénk volt, mint ha valakit meglőnek, de csak a kabátujját lyukasztják ki. Két évvel később egy kicsit nagyobb kisbolygó csak 145 000 kilométerrel tévesztette el a Földet; ez volt az eddig legközelebbinek mért elhaladás. Nem is vették észre, amíg el nem távolodott, tehát ez is figyelmeztetés nélkül érkezett volna. Timothy Ferris azt írta erről a *New Yorker*ben, hogy hetente kétszer-háromszor is megtörténhet, hogy valami ilyen közel halad el a Föld mellett, és észre sem vesszük. Egy száz méter átmérőjű égitestet nem lehet földi távcsővel észlelni, csak amikor már csak pár nap távolságra van tőlünk, és csak akkor, ha egy távcsövet véletlenül éppen ráirányítanak, ami nem túl valószínű, mert még ma is kevesebben keresnek kisbolygókat, mint amennyien például egyetlen McDonald's étteremben dolgoznak. (Azóta ez a szám nőtt egy kicsit, de csak egy kicsit.)

Miközben Gene Shoemaker megpróbálta figyelmeztetni az embereket a belső Naprendszerből fenyegető veszélyre, valami történt Olaszországban, aminek látszólag semmi köze nem volt a kisbolygókhoz. A Columbia Egyetem Lamont Doherty Laboratóriumának egyik ifjú geológusa az 1970-es évek elején terepmunkát végzett a Bottaccione Gorge nevű szép kis hegyszorosban az umbriai Gubbio hegyi városka közelében, amikor felfigyelt egy vékony vöröses agyagcsíkra két ősi mészkőréteg között, amelyek közül az egyik a krétakorból, a másik a harmadkorból (tercier) származott. Ezt a pontot a geológiában KT-határnak[41] nevezik, és azt a körülbelül 65 millió évvel ezelőtti időpontot jelölik vele, amióta hirtelen nem találni a dinoszauruszok és velük együtt durván minden második földi faj őskövületeit. Alvarez nem értette, hogy egy vékony, alig hat milliméteres agyagréteg hogyan függhet össze a Föld történetének ezzel a drámai pillanatával.

A dinoszauruszok kihalásáról a tudományos álláspont ekkor még mindig ugyanaz volt, mint száz évvel korábban, Charles Lyell idejében: a dinoszauruszok fokozatosan, több millió év alatt haltak ki. Az agyagréteg vékonysága azonban nyilvánvalóban arra utalt, hogy ha máshol nem is, Umbriában valami ennél sokkal gyorsabb történt. Sajnos az 1970-es években még nem állt rendelkezésre olyan módszer, amellyel meg lehetett volna állapítani, mennyi idő kellett e réteg felhalmozódásához.

Ha minden a szokásos módon zajlik, Alvareznek itt abba kellett volna hagynia a kutatást, de szerencsére volt egy olyan, a geológián kívüli kapcsolata, aki segítségére lehetett: apja, Luis. Luis Alvarez kiváló magfizikus volt; 1968-ban megkapta a fizikai Nobel-díjat. Soha nem örült igazán, hogy a fia kövekkel foglalkozik, de ez a probléma őt is érdekelte. Eszébe jutott, hogy a kulcs talán az űrből érkező por lehet.

A Földre minden évben körülbelül 30 000 tonna „kozmikus gömböcske" (szferula), azaz űrpor rakódik le, ami így egyben jelentős kupac lenne, de az egész bolygón elterítve elhanyagolható. A vékony porrétegben egzotikus, a Földön ritkán előforduló elemek is lehetnek. Ilyen például az irídium, amely az űrben ezerszer gyakrabban fordul elő, mint a földkéregben (ez valószínűleg azért van, mert a földi irídium legnagyobb része a bolygó magjába süllyedt még a Föld fiatal korában).

Luis Alvarez tudta, hogy Frank Asaro, akivel együtt dolgozott a kaliforniai Lawrence Berkeley Laboratóriumban, kifejlesztett egy módszert, amivel nagyon pontosan meg lehet mérni a különböző agyagfajták kémiai összetételét. A neutronaktivációs analízis során a vizsgálandó mintát egy kis atomreaktorban neutronokkal bombázzák, és megszámlálják a kibocsátott gamma-sugarakat, ami egy nagyon aprólékos munka. Ezzel a módszerrel Asaro korábban régi cserépdarabokat vizsgált, de Alvarez arra gondolt, hogy ha megmérnék a fia által talált mintákban az egyik ritka elem mennyiségét, és ezt összevetnék az évente a Földre kerülő mennyiséggel, megtudnák, milyen régi a minta. 1977 egyik októberi délutánján a két Alvarez betoppant Asaróhoz, és megkérték, végezze el a vizsgálatot.

Vakmerő kérés volt. Ezzel azt kívánták, hogy Asaro hónapokat töltsön geológiai minták lelkiismeretes méregetésével, csak hogy bizonyítsa, ami már elsőre is nyilvánvaló: a vékony agyagréteg valóban nagyon rövid idő alatt jött létre. Senki nem várta, hogy az elemzés eredménye nagy tudományos áttörést fog hozni.

Asaro így emlékszik vissza egy 2002-es beszélgetésben: „Nagyon kedvesek voltak, és nagyon gyorsan meggyőztek. Érdekes feladatnak tűnt, ezért beleegyeztem. Sajnos sok más munkám is folyamatban volt, ezért csak nyolc hónappal később kezdtem hozzá. Jegyzeteim alapján 1978. június 21-én, délután háromnegyed kettőkor tettük a mintát a detektorba. 224 percig hagytuk benne, de látva, hogy érdekes eredményre számíthatunk, leállítottuk, hogy megnézzük."

Az eredmény több volt, mint érdekes. A három tudós először meg volt győződve, hogy téved. Az Alvarez-féle mintában a szokásos irídiumszint több mint háromszázszorosát találták, és ez sokkal több volt, mint amennyire számítottak. A következő hónapokat Asaro és munkatársa, Helen Michel megfeszített munkával töltötték – volt, hogy egyszerre 30 órát dolgoztak („ha egyszer elkezdtük, nem tudtuk abbahagyni", nyilatkozta Asaro) –, de a minták vizsgálata mindig ugyanazt az eredményt mutatta. Máshonnan (Dániából, Spanyolországból, Franciaországból, Új-Zélandról és az Antarktiszról) származó mintákat is elemeztek, és kiderült, hogy az irídiumréteg az egész világon fellelhető, és a szokásosnál sokszor – egyes helyeken ötszázszor – töményebb. Valami nagy, hirtelen és valószínűleg katasztrofális dolognak kellett történnie.

Alvarezék sok töprengés után arra jutottak, hogy (legalábbis számukra) a legelfogadhatóbb magyarázat az, hogy a Föld összeütközött egy kisbolygóval vagy üstökössel.

A gondolat, hogy a Földön időnként pusztító erejű becsapódások történhetnek, nem is olyan új. A Northwestern Egyetem egyik asztrofizikusa, Ralph B. Baldwin már 1942-ben felvetette a lehetőséget a *Popular Astronomy* folyóiratnak írt cikkében. (A cikk azért csak itt jelenhetett meg, mert a komoly tudományos lapok visszautasították.) Ezenkívül még legalább két híres tudós, Ernst Öpik csillagász, és Harold Urey Nobel-díjas vegyész tett hasonló kijelentéseket. Még az őslénykutatók is foglalkoztak a dologgal. 1956-ban M. W. de Laubenfels, az Oregoni Állami Egyetem professzora egy cikkében (*Journal of Paleontology*) meg is előzte az Alvarez-elméletet, mert azt írta, hogy lehet, hogy a dinoszauruszok egy űrből érkező csapás miatt haltak ki. 1970-ben az Amerikai Őslénytani Társaság elnöke, Dewey J. McLaren az éves közgyűlésen beszámolt arról, hogy lehetséges, hogy egy földön kívüli test becsapódása okozta a frasni kihalásnak nevezett eseményt.

Annak illusztrálására, hogy a gondolat már mennyire a köztudatban volt ebben az időben, elmeséljük, hogy 1979-ben az egyik hollywoodi stúdióban készült egy *Meteor* című film („Öt mérföld széles... óránként 30 000 mérfölddel száguld... és nincs hová bújni előle!"), a főszerepekben Henry Fondával, Nathalie Wooddal, Karl Maldennel és egy jókora sziklával.

Így amikor 1980 első hetében az Amerikai Társaság a Tudomány Haladásáért ülésén a két Alvarez

bejelentette, hogy úgy gondolják, a dinoszauruszok kihalása nem lassú, feltartóztathatatlan folyamat során, évmilliók alatt történt, hanem egyetlen nagy hatású esemény miatt, a hallgatóságnak készen kellett volna állnia az újdonság befogadására.

Nem így történt. A gondolatot mindenki, főként az őslénykutatók, égbekiáltó eretnekségnek tartotta.

Adjuk át ismét a szót Asarónak: „Nos, ne felejtsük el, hogy ezen a területen amatőröknek számítottunk. Walter geológus, szűkebb szakterülete a paleomágnesség, Luis fizikus, én pedig magkémikus vagyok. Fogjuk magunkat, kiállunk egy csoport őslénytudós elé, és kijelentjük, hogy megoldottunk egy problémát, amivel ők már száz éve bajlódnak. Nem túl meglepő, hogy nem fogadták el azonnal az elméletet... Rajtakaptak minket, hogy jogosítvány nélkül belekontárkodtunk a geológiába."

A becsapódáselméletben volt valami mélyebb és még alapvetőbben ellentmondásos. Lyell óta a természetrajz alaptétele volt, hogy a földi folyamatok fokozatosan mennek végbe. Az 1980-as évekre a katasztrofizmust már olyan régen elfelejtették, hogy felélesztése szinte elképzelhetetlen volt. A legtöbb geológus számára a pusztító becsapódás gondolata „ellenkezett tudományos vallásukkal" (Eugene Shoemaker megjegyzése).

Az sem lendített sokat az ügyön, hogy Luis Alvarez nem titkolta, hogy semmibe veszi az őslénykutatókat és tudományos eredményeiket, mert, mint a *New York Times*ban meg is írta egy meglehetősen sértő cikkben: „Nem igazán jó tudósok."

Az Alvarez-elmélet ellenzői rengeteg ötlettel álltak elő a nagy irídiumtartalmú lerakódások magyarázatára, például azzal, hogy az indiai Dekkán-fennsíkon (angolul: Deccan Traps, ahol a trap egy lávatípust jelentő svéd szó, a Deccan pedig a hely angol neve) történt vulkánkitörésektől keletkeztek, és nem győzték emlegetni, hogy nincsen bizonyíték arra, hogy az irídiumhatár óta nem keletkeztek dinoszaurusz-őskövületek. Az új elmélet egyik leghevesebb ellenzője Charles Officer volt, a Dartmouth College tanára. Még akkor is azt bizonygatta, hogy az irídiumlerakódás vulkáni tevékenység eredménye, amikor egyszer már beismerte egy újság riporterének, hogy nincsen rá bizonyítéka. Egy felmérés szerint az amerikai őslénykutatók nagyobbik fele még 1988-ban is úgy gondolta, hogy a dinoszauruszok kihalásának semmi köze egy égitest becsapódásához.

Az Alvarez-elméletet a legjobban úgy lehetett volna bizonyítani, ha megtalálják a becsapódás helyét. És itt kezdődik Eugene Shoemaker szerepe a történetben. Shoemakernek volt egy iowai rokona – menye az Iowai Egyetemen tanított – és saját tapasztalatából ismerte a Manson-krátert. Neki köszönhetően ekkor mindenki Iowára kezdett figyelni.

A geológia mindenhol más. Iowában, ebben a sík és rétegtan szempontjából unalmas államban a geológusok nem számíthatnak nagy meglepetésekre. Nincsenek megmászhatatlan hegycsúcsok vagy a talajt gyaluló gleccserek, nincsenek nagy olaj- vagy nemesfémlelőhelyek, még csak egy kis piroklasztikus áramlás sincsen. Ha az olvasó véletlenül Iowába szegődne el geológusnak, munkaideje nagy részét valószínűleg a trágyakezelési tervek kiértékelése töltené ki, amelyeket az állam „állatszabályozási menedzsereinek" (régi nevükön sertéstenyésztőinek) rendszeresen be kell nyújtaniuk. Iowa tizenötmilliós sertésállománnyal büszkélkedhet, tehát jó sok trágyát kell kezelni. Ne higgye az olvasó, hogy gúnyolódom, hiszen fontos és korszerű dologról, a iowai vizek tisztántartásáról van szó, de azért ez mégsem ugyanaz, mint amikor a bátor kutatók mellett lávalövedékek süvítenek el a Pinatubo-hegyen, vagy amikor Grönland jégszakadékain kell átkelniük, hogy életnyomokat hordozó kvarckristályokat keressenek. Elképzelhetjük, hát, micsoda izgalom lehetett az Iowai Természeti Erőforrások Hivatalá-

ban, amikor az 1980-as évek közepén minden geológus tekintete Manson és krátere felé fordult.

Az Iowa Cityben lévő Townbridge Hall, egy századfordulón épült vörös téglás épület ad otthont az Iowai Egyetem földtudományi tanszékének, és itt, egy padlásszobában dolgoznak az Iowai Természeti Erőforrások Hivatalának geológusai. Senki nem emlékszik, hogy mikor és miért kerültek az állami geológusok egy oktatási intézménybe, de a látogatónak az a benyomása, hogy a helyet nem szívesen biztosítják nekik, hiszen a hivatal zsúfolt, a mennyezet alacsony, és nehéz odajutni. Amikor odavezetik, azt hiheti, hogy a hely csak a tető felől, egy ablakon át közelíthető meg.

Ray Anderson és Brian Witzke egész életükben itt dolgoztak rendetlen papírhalmok, naplók, összegöngyölt grafikonok és jól megtermett kövek között. (A geológusoknak mindig van elég levélnehezéküк.) Olyasfajta helyet képzeljünk el, ahol, ha például egy kávéscsészét, egy csengő telefont vagy egy széket a vendégnek meg kell találni, előbb egy csomó papírt át kell rakodni az egyik helyről a másikra.

Anderson így számolt be nekem a történtekről, amikor felkerestem őket irodájukban egy komor, esős júniusi délelőttön: „Hirtelen főszereplők lettünk. Csodálatos idők voltak."

Gene Shoemakerről is kérdeztem, akit általában mindenki mély tisztelettel szokott emlegetni. Witzke habozás nélkül nyilatkozott: „Nagyon jó fej volt. Nélküle az egész el sem kezdődött volna. Még az ő támogatásával is két év kellett, hogy valami egyáltalán megmozduljon. A fúrás nem olcsó mulatság; akkoriban körülbelül egy dollárba került centiméterenként, és körülbelül 900 méter mélyre kellett mennünk."

– Néha még mélyebbre is – tette hozzá Anderson.

– Igen, néha mélyebbre – mondta Witzke. – És több helyen. Tehát sok pénzre volt szükség. Többre, mint amennyi a költségvetésünkből kitelt volna.

Ezért az Iowai Geológiai Szolgálat és az Egyesült Államok Geológiai Szolgálata együttműködött.

– Legalábbis mi azt hittük, együttműködnek – mondta Anderson, szája sarkában egy kis szomorú mosollyal.

– Nagyon tanulságos volt – folytatta Witzke. – Akkoriban sok ostobaság hangzott el; sokan hoztak olyan eredményeket, amelyekről, ha egy kicsit megvizsgáltuk őket, kiderült, hogy tévesek.

Egy ilyen emlékezetes pillanat volt az Amerikai Geofizikai Egyesület 1985-ös ülése, amikor az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatánál dolgozó Glenn Izett és C. L. Pillmore bejelentette, hogy a Manson-kráternek kora alapján része lehetett a dinoszauruszok kihalását előidéző folyamatban. A bejelentést azonnal szenzációként közölte a sajtó, de sajnos túl korán, az adatok gondosabb tanulmányozása után ugyanis az derült ki, hogy a Manson nemcsak túl kicsi, de kilencmillió évvel öregebb is a kelleténél.

Anderson és Witzke erről először egy dél-dakotai konferencián hallottak, amikor kollégái egymás után üdvözölték őket sajnálkozó arccal, hogy: – Hallottuk, hogy elvesztették a kráterüket.

A két tudós addig nem is tudta, hogy Izett és a többi tudós nem sokkal azelőtt közölték az újabb számítások eredményét, amelyek szerint Manson mégsem lehet az a bizonyos becsapódási hely.

– Mintha fejbe vágtak volna minket – emlékszik vissza Anderson. – Úgy értem, itt volt ez a valóban nagyon fontos dolog, amiről egyszer csak kiderült, hogy már nincsen. Ennél már csak az volt rosszabb, hogy a geológusok, akikkel elvileg együtt dolgoztunk, meg sem osztották velünk az új eredményeket.

– Miért nem?

Megvonta a vállát. – Ki tudja? Mindenesetre megtanultuk, milyen visszataszító lehet a tudomány, ha

bizonyos szint alatt játsszuk.

A kutatás máshol folytatódott. 1990-ben az egyik kutató, Alan Hildebrand, az Arizonai Egyetem geológusa véletlenül találkozott a Houston Chronicle egyik újságírójával, aki történetesen ismert egy eleddig megmagyarázatlan, 193 kilométer széles és 48 kilométer mély, gyűrű alakú képződményt a mexikói Yucatán-félszigeten Chicxulubnál, Progreso város mellett, New Orleanstól körülbelül 950 kilométerre délre. A képződményt a Pemex mexikói olajtársaság munkatársai találták 1952-ben – éppen abban az évben, amikor Gene Shoemaker először látogatta meg az arizonai Meteor-krátert – de a cég geológusai azt vulkáni eredetűnek tartották, az akkori vélekedéssel összhangban. Hildebrand odautazott, és viszonylag gyorsan eldöntötte, hogy megvan a kráter. 1991 elejére már szinte mindenki osztotta a véleményt, hogy Chicxulub a becsapódás helye.

Ekkor még nagyon sokan nem értették, hogy milyen hatása lehet egy becsapódásnak. Stephen Jay Gould egyik értekezésében így írt saját érzéseiről: „Emlékszem, hogy eleinte erősen kételkedtem egy ilyen esemény hatóerejében... Hogyan lehetne, hogy egy mindössze 10 kilométer átmérőjű test ekkora pusztítást végzett egy majdnem 13 000 kilométer átmérőjű bolygón?”

Nagy szerencse, hogy az elméletet hamarosan tesztelni lehetett, miután a Shoemaker házaspár és Levy felfedezték a Jupiter felé haladó Shoemaker-Levy-9 üstököst. Ez volt az első eset, hogy az ember szemtanúja lehetett egy kozmikus összeütközésnek, méghozzá nagyon jól meg is lehetett figyelni az új Hubble-űrtávcső segítségével. Curtis Peebles szerint a legtöbb csillagász nem várt sokat az eseménytől, különösen, mivel az üstökös nem egyetlen tömbből állt, hanem huszonnégy egymás után következő kisebb darabból. Az egyik szemtanú szerint: „Úgy érzem, a Jupiter egyenként le fogja nyelni ezeket az üstökösöket, és még csak emésztési zavarokat sem fognak neki okozni.” Egy héttel a becsapódás előtt a *Nature* folyóiratban megjelent egy *The Big Fizzle Is Coming* (Jön a nagy sistergés) című cikk, amely szerint a becsapódás tulajdonképpen csak egy meteorzápor lesz.

A becsapódás 1994. június 16-án kezdődött. Egy hétig tartott, és sokkal nagyobb volt, mint bárki – talán egyedül Gene Shoemaker kivételével – gondolta volna. Az egyik darab, a Nuclens G körülbelül hatmillió megatonna erővel csapódott be, ami hetvenötször akkora, mint amekkora pusztításra bármelyik földi nukleáris fegyver képes. A G-jelű mag csak akkora volt, mint egy kisebb hegy, de a Jupiter felszínén Föld méretű sebeket ejtett. Ez volt az utolsó csapás az Alvarez-elmélet ellenzőinek.

Luis Alvarez már nem értesülhetett a Chicxulub kráterről vagy a Shoemaker-Levy-9 üstökösről, mert 1988-ban meghalt. Shoemaker pedig 1997-ben halt meg – autóbalesetben. A Jupiteren történt becsapódás harmadik évfordulóján feleségével, mint minden évben, most is Ausztrália távoli, elhagyott vidékein kerestek becsapódási helyeket. A Tanami sivatag (ami általában a Föld legüresebb helye) egy földútján egy bukkanónál összeütköztek egy szembejövő járművel. Shoemaker azonnal meghalt, a felesége megsebesült. Hamvai egy részét a Lunar Prospector űrszonda a Holdra vitte, a többit pedig a Meteor-kráterben szórták szét.

Anderson és Witzke elveszítették a dinoszaurusz-ölő krátert, „de még akkor is nekünk van a legnagyobb és épségben fennmaradt becsapódási helyszínünk az Egyesült Államok szárazföldi részén”, mondta Anderson. (Egy kicsit vigyázni kell a fogalmazással, ha meg akarjuk őrizni a Manson-kráter státusát. Vannak ugyanis nála nagyobbak is, például a Chesapeake-öböl, amelyről 1994-ben derült ki, hogy szintén becsapódás eredménye, de ezek vagy a tengerentúlon vannak, vagy nem maradtak meg változatlanul.) „Chicxulubot két-három kilométernyi mészkőréteg fedi, és legnagyobb része a tengerben helyezkedik el, ezért nehéz tanulmányozni, a Manson viszont nagyon jól elérhető. Éppen azért maradt meg ilyen jó állapotban, mert a föld alatt van.”

Megkérdeztem, mit gondolnak, mennyivel lehetne előre jelezni, ha egy hasonló méretű szikla indulna el felénk.

– Ó, valószínűleg semennyivel – válaszolta lazán Anderson. – Nem látnánk szabad szemmel, amíg fel nem izzana, az pedig csak a légkörben történne, vagyis körülbelül egy másodperccel korábban, mint ahogyan a Földbe csapódik. Olyan testről beszélünk, amelyik sok tízszer gyorsabban halad egy puskagolyónál. Hacsak valaki véletlenül meg nem látná, miközben bámulja az eget egy távcsővel – és erre nincsen nagy esély –, akkor teljesen váratlanul érkezne.

Sok mindentől függ, hogy egy becsapódó égitest mekkorát üt a Földön: a légkörbe belépés szögétől, a sebességétől és a pályájától; attól, hogy az ütközés sugárirányban történik, vagy csak súrolja a Földet; az érkező test tömegétől és sűrűségétől, és még sok más tényezőtől, amelyeknek egyikét sem tudjuk kideríteni ennyi millió évvel később. Amit viszont megtehetünk – ahogy ezt Anderson és Witzke meg is tették –, az a becsapódás helyének a megmérése és a felszabadult energia kiszámítása. Ebből azután különféle lehetséges forgatókönyveket készíthetünk arról, mi történhetett, vagy ha ijesztgetni akarnám az olvasót, azt mondanám, mi történhet.

A kozmikus sebességgel haladó kisbolygó vagy üstökös a Föld légkörébe olyan sebességgel lépne be, hogy az alatta lévő levegőoszlop nem tudna utat adni neki, és összenyomódna, mint egy biciklipumpában. Aki már használt ilyet, az tudja, hogy az összenyomott levegő gyorsan felforrósodik; az érkező égitest alatti levegő körülbelül 60 000 K hőmérsékletű lenne, tízszer olyan forró, mint a Nap felülete. A meteor útjában lévő akadályok – emberek, házak, gyárak, autók – a láng fölé tartott celofánhoz hasonlóan olvadnának és tűnnének el.

Egy másodperccel később, amikor a meteor áthaladt a Föld légkörén, becsapódna oda, ahol az előző pillanatban még mindenki tette a maga dolgát. Maga a meteor azonnal elporlana, de a robbanástól elmozdulna 1000 köbkilométernyi kő, föld és túlhevített gáz. A becsapódás körülbelül 250 kilométeres környezetében, amelyik élőlény nem égett meg a belépés pillanatában, az a robbanásban pusztulna el. Az első lökéshullám elképesztően nagy sebességgel gyűrűzne kifelé, mindent maga előtt tolva.

Akik nem voltak az elsődleges pusztítási zónában, azok a katasztrófából először is egy vakító fényfelvillanást látnának – olyan fényességet, amilyet emberi szem még nem látott –, majd egy pillanattal vagy egy-két perccel később elképesztő, apokaliptikus látványban lenne részük: egy zavaros, sötét fal nyúlik szinte az égig, betölti az egész látóteret, és óránként több ezer kilométeres sebességgel közeledik, ugyanakkor hang nélkül, hiszen jóval meghaladná a hangsebességet. Ha valaki éppen jó irányban nézne ki ekkor egy omahai vagy Des Moines-i magas épületből, elképesztő, örvénylő fátylat látna, amelyet azonnal követ a teljes megsemmisülés.

A Denvertől Detroitig tartó területen, többek között az egykori Chicagóban, St Louisban, Kansas Cityben, Minneapolisban és St. Paulban, tehát az egész Középnyugaton perceken belül minden, ami állt, a földbe döngölődik vagy lángokban áll, és majdnem minden élőlény halott. Az emberek még 1 500 kilométerrel a becsapódástól is a földre kerülnek, és meghalnak a repeszektől. Ahogy távolodunk fokozatosan egyre kevesebb kárt okoz a robbanás.

De ez csak az első lökéshullám. Csak találgathatunk, hogy miféle másodlagos katasztrófák következnének, de az biztos, hogy gyorsan történnének, és az egész Földre kihatnának. A becsapódás valószínűleg földrengések láncolatát indítaná el. Kitörnének a Föld tűzhányói. A partokat szökőárak pusztítanák. A Föld egy órán belül sötét füstfelhőbe burkolózna, mindenhová égő kövek és más törmelékek záporoznának, és ettől meggyulladna a Föld többi része is. Egyes számítások szerint az első nap végére körülbelül másfél milliárd ember halna meg. Az iono-szférában olyan zavarok keletkeznének, ame-

lyek megbénítanák a tömegtájékoztatást, ezért a túlélők nem is tudnák, máshol mi a helyzet, és hová menekülhetnek. De ez nem sokat számítana. Egy vélemény szerint a menekülés csak „lassú halál lenne a gyors helyett. Nem sokakon segítene, ha elköltöznének, hiszen a Föld életfenntartó képessége mindenütt megszűnne."

Annyi korom és lebegő hamu kerülne a levegőben, hogy a Napot hónapokig, esetleg évekig is eltakarná, és ezzel teljesen tönkretenné a növekedési ciklusokat. 2001-ben a Caltech kutatói az utóbbi KT becsapódáskor keletkezett üledékben talált héliumizotópok vizsgálata alapján azt állították, hogy annak körülbelül tízezer éven keresztül tartó hatása volt az éghajlatra. Ezt a tényt felhasználták annak bizonyítására is, hogy a dinoszauruszok kihalása gyorsan, egyszerre történt – legalábbis geológiai értelemben. Nem tudhatjuk, hogy az emberiség hogyan birkózna meg vagy egyáltalán megbirkózna-e egy ilyen helyzettel.

És ne felejtsük, hogy mindez figyelmeztetés nélkül történne.

De tételezzük fel, hogy látjuk a közeledő égitestet. Mit tennénk? Népszerű feltételezés, hogy egy nukleáris robbanófejjel robbantanánk ripityára. Felmerül azonban egy-két gond ezzel kapcsolatban. Először vegyük John S. Lewis megjegyzését. Fegyvereinket nem űrbéli használatra tervezték. Nem tudnak kiszabadulni a Föld gravitációjából, de ha ki tudnának is, akkor sem lenne rajtuk hatékony irányítószerkezet több tízmillió kilométerre lévő célpontokhoz. Még kevésbé kivitelezhető, hogy felküldjünk egy űrhajónyi kemény fickót, hogy elbánjanak az ellenséggel, mint az *Armageddon* című filmben, hiszen a jelenleg rendelkezésre álló legerősebb rakétánkkal sem juttathatnánk fel embereket még a Holdig sem. Az utolsó ilyen rakéta a Saturn 5 volt, de az már évek óta nyugdíjban van, újat pedig nem építettek, már csak azért sem, mert – tudom, hogy ez képtelenségnek hangzik – a NASA egyik tavaszi nagytakarításában elvesztek a tervei.

De még ha valahogyan robbanótöltetet is tudnánk juttatni a kisbolygóra, ami darabokra tépné, akkor is leginkább csak annyi történne vele, mint a Shoemaker-Levy-9 üstökössel a Jupiteren: a darabok egymás után becsapódnának, azzal a különbséggel, hogy a kövek ráadásul rendkívül radioaktívak is lennének. Tom Gehrels, az Arizonai Egyetem kisbolygókutatója úgy gondolja, hogy akár egyéves előrelátás is kevés lenne. Amúgy is az a legvalószínűbb, hogy nem vennénk észre a közeledő tárgyat, még ha az üstökös lenne is – csak, amikor már 6 hónapra van tőlünk, ami semmire nem elég. A Shoemaker-Levy-9 1929 óta keringett tisztán láthatóan a Jupiter körül, de több mint egy fél évszázad kellett ahhoz, hogy valaki egyáltalán észrevegye.

Mivel ezeket a dolgokat nagyon nehéz kiszámítani, és nagy a hibahatár, még ha tudnánk is, hogy egy égitest közeledik felénk, akkor is csak a vége felé – mondjuk az utolsó két hétben – derülne ki, hogy ütközni fogunk-e. Az objektum közeledésének legnagyobb részét bizonytalanságban töltenénk. Biztos, hogy ezek lennének az emberiség történetének legérdekesebb hónapjai. És képzeljük el, micsoda ünnepséget rendezhetnénk, ha mégis elhalad mellettünk...

– Milyen gyakran történik olyasmi, mint a Manson-becsapódás? – kérdeztem Andersontól és Witzkétől beszélgetésünk végén.

– Mondjuk átlagosan millió évenként egyszer – válaszolta Witzke.

– És ne felejtsük – egészítette ki Anderson – hogy ez viszonylag kis esemény volt. Van fogalma róla, hogy hány faj halt ki a Manson-becsapódás miatt?

– El sem tudom képzelni – feleltem.

– Egy sem – mondta, és egy kis elégedettséget hallottam a hangjában. – Egy sem.

Azért gyorsan, szinte egyszerre hozzátették, hogy szörnyű pusztítást végzett a Földön, hasonlót a fent

leírtakhoz, és a föld színéről mindent eltörölt több száz kilométerre. De az élet szívós, és amikor a füst eloszlott, minden fajból volt elég túlélő, ezért egyik sem halt ki.

Úgy tűnik tehát, hogy az a jó hír, hogy nagyon nagy pusztítás kell ahhoz, hogy egy faj végérvényesen kipusztuljon. A rossz hír viszont az, hogy a jó hírre nem lehet biztosan számítani. És még rosszabb, hogy nem is kell a távoli űrben keresnünk a fenyegető veszélyeket, Mint hamarosan látni fogjuk, maga a Föld is ellát minket elég ilyennel.

14.
TALPUNK ALATT LÁNGOL A TŰZ

1971 nyarán Mike Voorhies, egy fiatal geológus Kelet-Nebraska mezőit járta be a szülőföldjén, Orchard városka mellett. Egy meredek falú vízmosás mellett elhaladván észrevette, hogy valami megcsillan a part tetején lévő bozótban. Felmászott, és meglátta egy fiatal orrszarvú tökéletes állapotban fennmaradt koponyáját, amelyet valószínűleg nemrég moshatott ki az eső.

Mint utóbb kiderült, csak néhány méterre állt Észak-Amerika egyik legrendkívülibb őskövületrétegétől, egy kiszáradt, régebben nedves üregtől, ami rengeteg állat tömegsírjává vált; volt itt orrszarvú, zebra alakú ló, kardfogú szarvas, teve, teknős. Mindannyian egy titokzatos katasztrófa áldozatai lettek valamikor tizenkétezer évnél nem régebben, a miocén korban. Akkoriban Nebraska egy hatalmas, forró síkságon helyezkedett el, hasonlóan a mai afrikai Serengetihez. Az állatokat 3 méter vastag vulkánihamu-réteg alatt találták meg. A furcsa csak az volt a dologban, hogy sem akkor, sem régebben nem volt egyetlen vulkán sem egész Nebraskában.

Ma Voorhies felfedezése helyén az Ashfall Fossil Beds State Park (Hulló Hamu Őslényréteg Állami Park) található. Szép új információs központjában és bejárata körül megtekinthető egy kiállítás Nebraska geológiájáról és őslényrétegeiről. Építettek egy üvegfalú laboratóriumot is, és a látogatók nézhetik, amint az őslénykutatók csontokat tisztogatnak. Amikor ott jártam, éppen egy kedélyes, őszes, kék munkásinget viselő fickót láttam a laboratóriumban, akit megismertem a BBC *Horizon* dokumentumműsorából: ő volt Mike Voorhies. A semmi közepén lévő nemzeti parknak nincsen túl sok látogatója, és úgy látszott, Voorhies nem bánja, ha megkérem, hogy kalauzoljon körbe. Elvitt arra a hat méter magasan fekvő pontra is, ahol felfedezte az első koponyát.

– Butaság lett volna éppen itt csontokat keresni – emlékezett vissza. – Nem is kerestem. Akkoriban Kelet-Nebraska geológiai térképének elkészítése járt a fejemben, és csak nézelődtem. Ha nem másztam volna fel a vízmosás falán, vagy ha az eső nem mosta volna ki a koponyát, továbbmentem volna, és a lelet észrevétlen marad. – Egy közeli fedett, elkerített helyre, a fő ásatási helyszínre mutatott. Itt találták meg a körülbelül kétszáz állatot egymás hegyén-hátán.

Megkérdeztem, miért mondta, hogy nem érdemes itt csontokat keresni.

– Nos, ha az ember csontot keres, ezt olyan helyen tegye, ahol köves a felszín. Ezért végzik a legtöbb őslénytani ásatást forró, száraz vidéken. Nem mintha ott több csont lenne, viszont jobb esélyünk van megtalálni. Egy ilyen helyen – és körbemutatott a hatalmas, mindenhol egyforma prérin – az ember azt sem tudja, hol kezdje. Lehet, hogy csodálatos dolgok vannak a föld alatt, de a felszínen semmi nem utal arra, hol kezdjük a kutatást.

Először azt hitték, hogy az állatok még életben voltak, amikor a következő réteg rájuk került, és Voorhies 1981-ben ezt meg is írta egy cikkben a *National Geographic*ben.

– A cikkben a helyszínt az ősállatok Pompejijének neveztem, ami nem volt szerencsés, hiszen nem sokkal később rájöttünk, hogy az állatok egyáltalán nem hirtelen pusztultak el. Mindnyájukon észrevettük a hipertrofikus tüdő-oszteodisztrófia tüneteit; ez a betegség például akkor lép fel, ha valaki sok szemcsés hamut lélegzik be, és erre jó esélyük volt, hiszen több száz kilométeren keresztül legalább harminc centiméteres hamuréteget találtunk. – Belemarkolt a talajba, és a szürke, agyagszerű földet a tenyerembe morzsolta. Éreztem, hogy az porból és szemcsékből áll.

– Nem lenne jó, ha ezt kellene belélegeznünk, mert bár a szemcsék finomak, elég élesek is. Az állatok tehát idejöttek az ivóhelyre, gondolom, remélték, hogy az majd segít rajtuk, de sajnos mind elpusztultak, valószínűleg kínos halállal. A hamu valószínűleg mindent tönkretett. Gondolom, betemetett minden füvet, bevont minden egyes levelet, a vízből pedig ihatatlan szürke iszap lett. Borzasztó lehetett.

A *Horizon* dokumentumfilmben említik, hogy nagy meglepetés volt, hogy Nebraskában ennyi hamut találtak, pedig az állam hatalmas hamurétegeiről már viszonylag régóta tudtak. Majdnem száz éve bányászták, és háztartási tisztítószereket készítettek belőle, például a Cometet és a Magyarországon is ismert Ajaxot. Furcsa, de eddig senki nem gondolkodott el rajta, vajon honnan származhat ez a rengeteg hamu.

– Kicsit szégyellem – mondta Voorhies mosolyogva –, de először nekem is csak akkor jutott eszembe ezen gondolkodni, amikor a *National Geographic* szerkesztője megkérdezte tőlem, hogy honnan jöhetett ez a rengeteg hamu, és be kellett ismernem, hogy fogalmam sincs róla. De másnak sem volt.

Voorhies talajmintát küldött összes nyugat-amerikai kollégájának, hátha valaki felismeri az anyagot. Több hónap telt el, amíg válasz érkezett: az Idahói Geológiai Szolgálat egyik munkatársa, Bill Bonnichsen közölte vele, hogy a hamu megegyezik a Délnyugat-Idaho Bruneau-Jarbidge nevű helyén talált vulkáni lerakódással. A nebraskai síkságok állatait egy korábban elképzelhetetlen erejű vulkánkitörés pusztította el. Az esemény után három méter mély, 1600 kilométer átmérőjű hamuréteg rakódott le Kelet-Nebraskában. Kiderült, hogy az Egyesült Államok nyugati fele alatt egy hatalmas magmakatlan van, ami körülbelül hatszázezer évente kitör. A legutóbbi vulkánkitörés hatszázezer évnél egy kicsit régebben volt, de a helye még mindig meleg. Ez a hely a Yellowstone Park.

Különös, hogy milyen keveset tudunk arról, mi játszódik le a talpunk alatt. Ford már régen autókat gyártott, a tudósok pedig minden évben Nobel-díjat kaptak, amikor még nem tudtuk, hogy a Föld belseje forró. Az pedig, hogy a szárazföldek tavirózsaként úszkálnak a felszínen, alig egy nemzedék óta ismeretes. Richard Feynman szerint: „Akármilyen furcsán hangzik, jobban ismerjük a Nap belsejének összetételét, mint saját bolygónkét.”

A Föld felszíne 6370 kilométerre van a középpontjától, ami végül is nem nagy távolság. Ha egy ilyen mély kutat ásnánk, és egy követ ejtenénk bele, az negyvenöt perc múlva érkezne a Föld középpontjába, bár addigra nem lenne súlya, hiszen a Föld tömegközéppontjában nem hatna rá a gravitáció. [42] Ilyen mélyre persze nem merészkedünk; egy-két dél-afrikai aranybánya megvan három kilométer mély is, de a legtöbb földi bánya mindössze 400 méterre fekszik a felszín alatt. Ha a bolygó alma lenne, még nem jutottunk volna át a héján. Éppen csak megkarcoltuk.

Körülbelül száz éve a tudósok még nem tudtak többet a Föld belsejéről, mint egy jól képzett bányász: egy darabig le lehet ásni, utána pedig már csak kő következik. 1906-ban R. D. Oldham ír geológus egy guatemalai földrengés szeizmográfokkal kapott adatainak elemzése során észrevette, hogy egyes lökéshullámok a Föld mélyébe hatolnak, és egy bizonyos szögben visszaverődnek, mintha akadályba ütköznének. Ebből arra következtetett, hogy a Föld belseje különbözik a többi résztől. Három évvel később Andrija Mohorovičić horvát földrengéskutató egy zágrábi földrengés leírásában hasonló, de kisebb szögű különös eltérésre lett figyelmes. Rájött, hogy a földkéreg és az alatta lévő réteg, a köpeny között egy határ húzódik; ezt azóta is Mohorovičić-féle diszkontinuitásnak vagy felületnek, vagy röviden Mohónak nevezik.

Kiderült tehát, hogy a Föld rétegekből áll, de még messze nem ismerték az összeset. 1936-ban például a dán Inge Lehmann új-zélandi földrengési adatok alapján felfedezte, hogy a Föld magja két részből áll: egy belsőből, amely jelenlegi tudásunk szerint szilárd, és egy külsőből (ez verte vissza az Oldham által tanulmányozott lökéshullámokat), ami valószínűleg folyékony halmazállapotú, és ez hozza létre a Föld mágneses terét.

Körülbelül ugyanakkor, amikor Lehmann a Föld belsejét tanulmányozta, a kaliforniai Caltech két geológusa annak a módját kereste, hogyan lehet két egymás utáni földrengést összehasonlítani. Nevük Charles Richter és Beno Gutenberg volt, és az általuk kitalált rangsort teljesen igazságtalanul azonnal Richter-skálaként kezdték emlegetni. (Erről nem Richter tehetett. Ő a skálára szerénységből soha nem a saját nevével hivatkozott; egyszerűen magnitúdóskálának hívta.)

A Richter-skálát a legtöbben mindig is félreértették, bár ma már nem annyian, mint Richter idejében, amikor minden látogatója arra kérte, mutassa meg neki, mert azt hitték, valamiféle gép.[43] A skála természetesen nem tárgy, hanem osztályozórendszer, amellyel a földrengéseket lehet megmérni a felszín rezgése alapján. A skála exponenciális, tehát egy 7,3-as földrengés ötvenszer olyan erős, mint egy 6,3-as, és 2 500-szor akkora, mint egy 5,3-as.[44]

Elméletileg a földrengések erősségének nincsen felső határa, sőt, alsó sem. A skála egyszerűen az erősséget méri, de nem szól a földrengés okozta kárról. Ha egy 7-es erősségű földrengés történik a földköpeny belsejében, mondjuk 650 kilométer mélyen, lehet, hogy a felszínen nem okoz semmiféle kárt, viszont egy sokkal kisebb, amelyik a felszín alatt 6 vagy 7 kilométerre zajlik le, mérhetetlen pusztítást okozhat. Sok függ az altalajtól is, valamint a földrengés időtartamától, az utórezgések gyakoriságától és erősségétől, és az érintett terület fizikai adottságaitól. Mindez azt jelenti, hogy nem feltétlenül a legerősebb földrengések a legfélelmetesebbek, bár az erő természetesen fontos tényező.

A skála bevezetése óta történt legnagyobb földrengés (forrástól függően) vagy 1964 márciusában történt az alaszkai Prince William-szorosnál (9,2 a Richter-skálán), vagy 1960-ban a Csendes-óceánban, Chile partjai mellett (eredetileg 8,6-osnak mérték, de később több hatóság, például az Egyesült Államok Geológiai Szolgálata javaslatára 9,5-össé nyilvánították). Az olvasó ebből is láthatja, hogy a földrengések mérése nem tartozik az egzakt tudományok közé, különösen, ha távoli helyek adatait kell feldolgozni. A fenti két földrengés mindenképpen hatalmas volt. Az 1960-as nemcsak Dél-Amerika csendes-óceáni partvidékén pusztított, hanem elindított egy szökőárt is, ami elért egészen a Hawaii szigetén lévő Hilo belvárosáig, és ott romba döntött ötszáz házat, és hatvan ember meg is halt. Más tengerrengések is eredtek innen, amelyek még Japánban és a Fülöp-szigeteken is áldozatokat szedtek.

Az azonnali leghatalmasabb feljegyzett pusztítás azonban Lisszabonban, Portugália fővárosában történt 1755-ben, Mindenszentek napján (november l-jén). Délelőtt tíz óra előtt valamivel a várost egy hatalmas (ma 9-esnek becsüljük) oldalirányú lökés érte, ami hét percig tartott, és ez alatt az idő alatt szinte darabokra rázta a várost. A földrengés ereje akkora volt, hogy a víz egészen visszahúzódott a kikötőből, majd egy több mint 15 méteres hullám alakjában tért vissza, ami szintén szörnyű pusztítást végzett. Amikor a rengés végre megszűnt, a túlélők csak három percig örülhettek, mert akkor érkezett a második lökéshullám, ami alig volt gyengébb az elsőnél. A harmadik, utolsó rengés két óra múlva történt. A végeredmény hatvanezer halott volt, és kilométereken át nem maradt egyetlen sértetlen épület sem.[45] Az 1906-os San Franciscó-i földrengés a Richter-skála szerint csak 7,8-as volt, és harminc másodpercig tartott.

A földrengés nem szokatlan jelenség. A világban valahol minden nap történik átlagosan két – legalább 2-es erősségű – ez elég ahhoz, hogy a közelben állókat jól meglökje. Bár vannak bizonyos helyek, ahol sokkal gyakrabban fordul elő – általában a Csendes-óceán partjainak környékén –, bárhol lehet földrengés. Az Egyesült Államokban csak Florida, Texas keleti fele és a felső Középnyugat a kivétel – eddig. New Englandben az utóbbi kétszáz évben két legalább 6-os erősségű földrengés történt. 2002 áprilisában New York és Vermont államok határán, a Champlain-tó közelében volt egy 5, l-es magnitúdójú földrengés, ami nagy károkat okozott, és amitől (tanúsíthatom) még New Hampshire-ben is leestek a képek a falról, a gyerekek pedig kipottyantak az ágyukból.

Leggyakrabban akkor keletkezik földrengés, ha két kőzetlemez ér egymáshoz, mint a kaliforniai Szent András-törésvonalnál. A lemezek egymásnak feszülnek, és nagy nyomás keletkezik, amíg az egyik „fel nem adja". Általában minél ritkábban történik földrengés, annál nagyobb erő halmozódik fel, tehát annál nagyobb földmozgásra számíthatunk. Ez a tokióiak fő aggodalma; Bill McGuire, a London University College égisze alatt működő Benfield Kockázatkutató Központ igazgatója szerint Tokió „csak arra vár, mikor jön el a megsemmisülés" (ezt a mottót az olvasó ne keresse az utazási irodák prospektusaiban). A japán főváros ugyanis három kőzetlemez találkozásánál épült egy olyan országban, amelyet közismerten állandóan veszélyeztetnek a földrengések. Bizonyára emlékszünk még, hogy 1995-ben Kobe várost, ami Tokiótól 500 kilométerre van nyugatra, 7,2-es erősségű földrengés sújtotta; 6 394 ember halt meg. A kár körülbelül 99 milliárd dollár volt. De ez semmi ahhoz képest, ami Tokióra várna.

A japán fővárosban egyszer már volt egy pusztító erejű földrengés. 1923. szeptember l-jén valamivel dél előtt a várost megrázta a Nagy Kantó Földrengés. Ez körülbelül tízszer olyan erős volt, mint a kobei. Kétszázezer ember lelte halálát. Azóta Tokió furcsa módon csendes, tehát a felszín alatt nyolcvan éve halmozódik a feszültség, ami előbb-utóbb, nagy az esélye, hogy ki fog törni. 1923-ban Tokiónak körülbelül hárommillió lakosa volt – ma majdnem harmincmillió. Senki nem meri kiszámítani, hányan halhatnak meg egy földrengés során, de az anyagi kár elérheti a hétbillió dollárt.

Ennél is nyugtalanítóbbak – mert még kevesebbet tudunk róluk, és bárhol, bármikor előfordulhatnak – a ritkább, lemezen belüli földrengések. Ezek nem feltétlenül a kőzetlemezek szélén történnek, ezért teljesen előrejelezhetetlenek. És mivel jóval mélyebbről erednek, nagyobb területet érintenek. A leghírhedtebb ilyen földrengés az Egyesült Államokban egy hármas sorozat volt a Missouri állambeli New Madridben, 1811-1812 telén. Az esemény december 16-án, éjfél után kezdődött, amikor a környék lakói arra ébredtek, hogy a háziállatok nagyon nyugtalanok (ez a jelenség nem babona, bár az okát még nem tudjuk), majd fülhasogató zaj hallatszott a föld mélyéből. Az emberek kirohantak a házakból, és látták, hogy a föld majdnem méteres hullámokat vet, és több méter mély hasadékok nyílnak meg. A levegőben kénszag terjengett. A rengés négy percig tartott, és hatalmas károkat okozott. Az egyik szemtanú John James Audubon festőművész volt, aki véletlenül tartózkodott ott. A földrengés epicentrumától kifelé terjedő hullámok még a 600 kilométerre lévő Cincinnatiben is kéményeket döntöttek le, és egy elbeszélő szerint „csónakok süllyedtek el a keleti parton, és még a washingtoni Capitolium állványzatát is összedöntötte". Január 23-án és február 4-én ismét hasonló erősségű földrengések rázták meg a környéket. New Madrid azóta nyugodt, de ez nem meglepő, hiszen az ilyen földrengések nem szoktak kétszer egymás után ugyanott megtörténni. Amennyire tudjuk, előfordulásuk éppen olyan véletlenszerű, mint a villámlásé. Lehet, hogy a következő Chicago, Párizs vagy Kinshasa alatt következik be. Nincsen semmiféle támpontunk ennek előrejelzéséhez. De vajon mi okozza ezeket a hatalmas, kőzetlemezen belüli repedéseket? Valami mélyen a Föld alatt – ennél többet nem tudunk.

1960-ra a tudósokat már annyira bosszantotta, hogy milyen keveset tudnak a Föld belsejéről, hogy elhatározták, tesznek valamit a helyzet ellen. Az óceánfenék átfúrása jó ötletnek tűnt, mivel a szárazföldi földkéreg túl vastag. El akarták érni a Moho-diszkontinuitást, és fel akartak hozni egy földköpenydarabot, hogy alaposan megvizsgálhassák. Úgy gondolták, ha megismerik a Föld mélyén fekvő kőzeteket, az közelebb viszi őket annak megértéséhez, hogy milyen kölcsönhatások vannak közöttük, és esetleg előre tudnák jelezni a földrengéseket és az egyéb kellemetlen eseményeket.

Nem lehetett elkerülni, hogy a vállalkozást Mohole-ként[46] emlegessék. Sajnos teljesen eredménytelen volt. A Csendes-óceánban akartak fúrni, Mexikó partjainál. Itt 4000 méternyi tengervízen és 5000 méternyi földkérgen (az utóbbi viszonylag vékonynak számít) kellett volna áthatolniuk. De a nyílt vízen egy hajóról lefelé fúrni éppoly reménytelen vállalkozás, mintha „egy New York-i járdába akarnánk lyukat fúrni az Empire State Building tetejéről egy szál spagetti segítségével”, legalábbis egy oceanográfus megjegyzése szerint. Minden kísérlet kudarcba fulladt. A legmélyebb lyuk mindössze 180 méter mély volt. A Moholéból tehát No Hole[47] lett. 1966-ban a Kongresszus leállította a beruházást, hiszen az egyre magasabb költségek ellenére semmiféle eredmény nem született.

Négy évvel később szovjet tudósok is nekigyürkőztek a feladatnak, de ők a szárazföldön próbálkoztak. A finn határhoz közeli Kola-félszigeten kezdek a fúráshoz; a terv szerint 15 kilométer mélyre kellett volna jutniuk. A munka a vártnál nehezebbnek bizonyult, de a szovjetek dicséretesen állhatatosak voltak. Csak tizenkilenc évvel később adták fel, amikorra már 12 262 méter mélyre ástak. Mivel a földkéreg a bolygó térfogatának csak 0,3%-a, és a lyuk nem ért el a kéreg egyharmadáig sem, sajnos nem mondhatjuk, hogy meghódítottuk a Föld belsejét.

Bár a lyuk szerény méretűre sikerült, így is sok meglepetéssel szolgált. A földrengéshullámok tanulmányozása alapján a tudósok meglehetősen biztosak voltak abban, hogy 4 700 méter mélységig üledékes kőzeteket fognak találni, majd 2 300 méteren át gránit következik, onnantól kezdve pedig bazalt. A lyukban azonban az üledékes kőzetréteg másfélszer olyan mély volt, bazaltot pedig nem is találtak. Az is meglepte a kutatókat, hogy a Föld mélyében jóval melegebb van, mint gondolták volna; 10 000 méter mélyen már 180 °C, ami majdnem kétszer annyi, mint amennyire számítottak. A legérdekesebb azonban az volt, hogy a mélyben talált kőzetekben nagy mennyiségű víz volt – ezt végképp nem gondolták volna.

Mivel ezek szerint egyelőre nem láthatunk le a Föld mélyébe, másképpen kell felderítenünk a felszín alatti világot. Erre leginkább a különböző hullámok viselkedéséből következtethetünk. Ami keveset a földköpenyről tudunk, az a kimberlitkürtőknek köszönhető. Ezekben képződnek a gyémántok, amikor a Föld belsejéből robbanás következtében egy magmaágyúgolyó száguld hangsebességnél gyorsabban a felszín felé. Egy ilyen esemény teljesen véletlenszerűen következik be; még az is lehet, hogy éppen ebben a pillanatban képződik egy kimberlitkürtő az olvasó kertjében. Mivel ezek nagyon (akár 200 kilométer) mélyen erednek, mindenféle akadhat bennük, ami általában nem található a felszín közelében: peridotit, olivinkristályok és – csak nagy néha, minden századik kürtőben – gyémánt. A kimberlitkitöréskor kiszórt anyagok között sok szén van, de ennek legnagyobb része elég, vagy grafittá alakul. Ritkán fordul csak elő, hogy egy darab éppen megfelelő sebességgel kerül a felszín közelébe, és hűl le ahhoz, hogy gyémánt képződjék belőle. Egy ilyen kürtő tette Dél-Afrikát a világ legnagyobb gyémántkitermelő országává, de lehet, hogy vannak ennél nagyobbak is, csak nem tudjuk, hogyan keressük őket. A geológusok tudják, hogy Indiana állam északkeleti részén kell lennie ilyen kür-

tőnek vagy kürtőknek. Ha ezeket megtalálnák, az fantasztikus lenne. 20 karátos méretű gyémántokat is találtak azon a vidéken, de a forrás még nincs meg. John McPhee szerint lehet, hogy egy glaciális üledékréteg alatt van, mint az iowai Manson-kráter vagy esetleg a Nagy-tavak alatt.

Tehát mennyit is tudunk a Föld belsejéről? Nagyon keveset. Úgy hisszük, az alattunk lévő világ négy rétegből áll: a megkövesedett külső kéregből, a forró, sűrűn folyó olvadt kőzetből álló köpenyből, egy folyékony halmazállapotú külső és egy szilárd belső magból.[48] Tudjuk, hogy a felszín elsősorban szilikátokból áll; ezek viszonylag kis sűrűségűek, tehát a Föld belsejében valami nehezebb anyagnak kell lennie. A mágneses tér fenntartásához valahol a Föld belsejében kell lennie egy sűrű, olvadt fémes rétegnek. Nagyjából ennyi az, amit mindenki elfogad. A többi, például, hogy milyen kölcsönhatások vannak az egyes rétegek között, hogy mitől viselkednek, ahogyan viselkednek, és hogyan fognak később viselkedni, kisebb-nagyobb mértékben bizonytalan.

De késhegyig menő viták folynak még a Földnek a számunkra látható részéről is: a kéregről. Szinte minden szakkönyv szerint a földkéreg 5-10 kilométer vastag az óceánok alatt, 40 kilométeres a szárazföldek alatt, és 65-95 kilométeres a nagy hegyláncok alatt, de akadnak nagy és érthetetlen eltérések is ezektől az adatoktól. A Sierra Nevada hegység alatt például csak 30-40 kilométer vastag a földkéreg, de senki nem tudja, miért. A geofizika összes törvénye szerint a Sierra Nevada hegységnek süllyedni kellene, mintha futóhomokon emelkedne. (Van, aki úgy gondolja, ez így is van.)

A geológusok két nagy táborra oszlanak abban a kérdésben, hogy a földkéreg hogyan és mikor alakult ki. Az egyik nézet szerint hirtelen, a Föld története elején, a másik szerint fokozatosan és később. Ezzel kapcsolatban nagy indulatok csapnak össze. A Yale Egyetem egyik professzora, Richard Armstrong az 1960-as években adta elő a korai kialakulásról szóló elméletét, és élete többi részében kemény csatákat vívott a más véleményen levőkkel. 1991-ben halt meg rákban, de nem sokkal azelőtt még „kirohanást intézett a másik tábor ellen egy ausztrál geológiai folyóiratban folytatott vita során, babonás hiedelmek támogatásával vádolva meg őket”, az *Earth* magazin 1998-as cikke szerint. Egy munkatársának elmondása alapján megkeseredett emberként halt meg.

A kéreg és a külső köpeny egy része alkotja a litoszférát (a szó a görög, kő jelentésű lithoszból származik), ez pedig egy lágyabb kőzetrétegen, az asztenoszférán (a szó a görög gyenge jelentésű kifejezésből származik) lebeg, de ezek a kifejezések is vitára adhatnak okot. Az, hogy a litoszféra egy lágy rétegen lebeg, esetleg valamiféle könnyedség érzetét keltheti, de ez nem igaz. Azt sem hihetjük, hogy a kövek úgy folynak, ahogyan a folyadékok a felszínen. A kőzet folyékony, de csak annyira, mint az üveg. Lehet, hogy nem látjuk, de a Föld minden üvege lefelé folyik, a gravitációnak engedelmeskedve. Ha egy európai székesegyháznak kiveszik az egyik régi ablakát, azt mérhetően vastagabbnak fogják találni az alján, mint a tetején. Mi itt csak ilyen mértékű folyásról beszélünk. Az óra kismutatója körülbelül tízezerszer gyorsabban halad, mint a földköpeny.

A mozgások nem csak vízszintes irányúak, mint a kőzetlemezek mozgása; van függőleges mozgás is, amikor a kövek fel- vagy lemozdulnak a hőáramlásnak nevezett kavargó folyamat során. Ezt először a különc Rumford gróf írta le a XVIII. század végén. Hatvan évvel később egy Osmond Fisher nevű angol lelkész korát megelőzve felvetette, hogy lehet, hogy a Föld belseje elég képlékeny ahhoz, hogy a benne lévő anyagok elmozdulhassanak, de elképzelése hosszú ideig nem talált támogatókra.

1970 körül, amikor a geofizikusok rájöttek, hogy micsoda kavargás megy végbe a felszín alatt, nagyon meglepődtek. Shawna Vogel így ír erről *Naked Earth: The New Geophysics* (A csupasz Föld:

Az új geofizika) című könyvében: „Olyan volt, mintha a tudósok már hosszú évtizedeket töltöttek volna a Föld légkörének (troposzféra, sztratoszféra és így tovább) feltérképezésével, és hirtelen rájöttek volna, hogy van egy szélnek nevezett jelenség."

Mindig is vita tárgya volt, hogy a hőáramlási folyamatok milyen mélységeket mozgatnak meg. Egyesek szerint 650, mások szerint több mint 3000 kilométerrel a felszín alatt kezdődnek. James Trefil szerint az a gond, hogy „a két különböző tudományág két különböző adathalmazzal dolgozik, és ezeket nehéz összeegyeztetni". A geokémikusoknak az a véleményük, hogy a bolygó felszínének egyes elemei nem származhatnak a felső köpenyből, csak mélyebbről. Ezek szerint viszont az alsó és a felső földköpeny anyagainak néha össze kell keveredniük. A földrengéskutatók viszont azt mondják, hogy ezt az elméletet semmi nem bizonyítja.

Tehát összesen annyit mondhatunk, hogy a Föld középpontja felé haladva egyszer csak elérünk egy pontra, ahol véget ér az asztenoszféra, és elkezdődik maga a köpeny. Bár ez a Föld térfogatának 82%-a, tömegének pedig a 65%-a, nem sokat foglalkoznak vele, főleg, mert a geológusokat és az érdeklődőket inkább vagy a lejjebb, vagy a felszínhez közelebb történő folyamatok érdeklik (például a mágnesség, illetve a földrengések). Tudjuk, hogy körülbelül 150 kilométer mélységig a köpeny főként a peridotit nevű kőzetből áll, de hogy az ez alatti 2 650 kilométert mi tölti ki, arról nincsen biztos tudomásunk. A *Nature* egy cikke szerint valószínűleg nem peridotit, ennél többet pedig nem tudunk.

A köpeny alatt következik a két mag: a szilárd belső és a folyékony külső. Mondanunk sem kell, hogy ezekről sincsen közvetlen tudásunk, csak ésszerű feltételezések. Tudjuk, hogy a Föld középpontja felé akkora a nyomás – a felszíninek mintegy hárommilliószorosa –, hogy ott minden kőzet szilárd. Azt is tudják, többek között a Föld történetéből, hogy a belső mag hőtároló képessége nagyon jó. Az is lehet, hogy négymilliárd év alatt a mag hőmérséklete mindössze 110 ° C-kal csökkent. Senki nem tudja pontosan, hogy milyen forró a Föld magja – a becsült értékek 4000 °C és 7000 °C között változnak –, de körülbelül olyan lehet, mint a Nap felszíne.

A külső magról még kevesebbet tudni, bár abban mindenki megegyezik, hogy folyékony, és innen ered a mágnesség. Az utóbbiról szóló elméletet E. C. Bullard, a Cambridge Egyetem professzora alkotta meg 1949-ben. Eszerint a Föld magjának ez a folyékony része forog, és ettől az egész olyan lesz, mint egy dinamó, és ez hozza létre a Föld mágneses terét. Az a feltételezés, hogy a Földben áramló folyadékok olyanok, mint az áram az elektromos vezetékekben. Hogy pontosan mi történik, azt nem tudni, de elég valószínű, hogy köze van a forgó maghoz és ahhoz, hogy az folyékony. A folyékony mag nélküli égitesteknek – például a Holdnak és a Marsnak – nincsen mágneses terük.

Tudjuk, hogy a Föld mágneses ereje időnként megváltozik; a dinoszauruszok korában majdnem háromszor akkora volt, mint ma. Azt is tudjuk, hogy átlagosan ötszázezer évenként a pólusok felcserélődnek, bár ez az érték nagy különbségeket mutat. A legutóbbi ilyen átfordulás hétszázötvenezer éve történt. Néha több millió éven keresztül ugyanott marad – a leghosszabb ilyen időszak, amiről tudomásunk van, 37 millió évig tartott – néha viszont már húszezer év múlva ismét megcserélődik. Az utolsó százmillió évben körülbelül kétszázszor változott, és nem tudjuk, miért. Van, aki ezt tartja a „geológia legnagyobb megválaszolatlan kérdésének".

Lehet, hogy hamarosan ismét meg fognak cserélődni a pólusok. A Föld mágneses tere csak az utóbbi száz évben 6%-kal csökkent. A mágnesség csökkenése nem jó hír, mert a mágneses mező nemcsak a vásárlócédulát tartja a hűtőszekrény ajtaján, és nemcsak az iránytűket működteti, hanem fontos szerepe van az élet fenntartásában is. Az űr tele van veszélyes kozmikus sugárzással, amely a mágneses védelem nélkül áthatolna testünkön, és valószínűleg szétszakítaná a benne lévő összes DNS-t. A mágneses

mező a sugarakat a Föld felszínéről az űr két, nem túl távoli zónájába sodorja, a Van Allen-övezetekbe. Kölcsönhatásban állnak a légkör felső részének részecskéivel is; így keletkeznek a köznyelvben sarki fényként emlegetett elbűvölő fényfátylak.

Annak, hogy a Föld belsejéről ilyen keveset tudunk, egyik oka az, hogy általában nem szokás összefüggésbe hozni egymással a felszín alatti és feletti folyamatokat. Shawna Vogel szerint: „A geológusok és a geofizikusok ritkán vesznek részt ugyanazokon az előadásokon, és nem szoktak együttműködni egy-egy probléma megoldásában."

Talán a legjobban az mutatja, hogy milyen kevéssé ismerjük a Föld belsejét, hogy amikor valamilyen belső folyamat felszíni eredményekkel jár, az többnyire kifog rajtunk. Jó példa erre a Washington állambeli St. Helens-vulkán 1980-as kitörése.

Akkor már hatvanöt éve nem történt vulkánkitörés az Egyesült Államok egybefüggő negyvennyolc államában. A St. Helens viselkedésének megfigyelésére és előrejelzésére az állam vulkanológusokat rendelt ki, de ők eddig csak Hawaii szigetén láttak működő vulkánt, és mint kiderült, ez óriási különbség.

A St. Helens vészjósló morgása március 20-án kezdődött. Egy hét múlva már szerény magmakitöréseket is észleltek (naponta körülbelül százat), és a föld állandóan rengett. A tűzhányó 13 kilométer sugarú környezetét kiürítették. Az egyre aktívabb St. Helens turistalátványosság lett. Az újságok naponta számoltak be azokról a helyekről, ahonnan kiválóan meg lehet figyelni a vulkánt. Tévéstábok helikopterei köröztek a hegy fölött, sőt, egyes merész hegymászók fel is kapaszkodtak rá. Volt egy nap, amikor hetven helikoptert számoltak meg a csúcs körül. Múltak a napok, és nem történt semmi drámai. Az emberek türelmetlenkedtek, és egyre többeknek az volt a véleményük, hogy a vulkán nem is fog kitörni.

Április 19-én a hegy északi oldala elkezdett szembetűnően kidudorodni. Érdekes módon egyetlen szakértő sem vette észre, hogy ez egy oldalirányú kitörés jele. A földrengéskutatók határozott véleménye volt, hogy ez a tűzhányó ugyanúgy működik, mint hawaii társai, azok pedig soha nem törnek ki az oldalukon. Jack Hyde, a Tacomai Főiskola geológiatanára volt talán az egyetlen, aki számított rá, hogy valami történni fog. Ő azzal érvelt, hogy a St. Helensnek nincsen kivezető nyílása, mint a hawaii vulkánoknak, tehát ha belül növekszik a nyomás, az egyszer csak drámai, esetleg katasztrofális módon ki fogja szakítani a hegyet. Hyde sajnos nem volt hivatalos szakértő, ezért meglátásait figyelmen kívül hagyták.

Minden amerikai tudja, hogy ezután mi következett. Május 18-án, vasárnap reggel 8:32-kor a vulkán északi oldala összeomlott, és hatalmas föld- és kőlavina indult meg a hegyoldalon 250 km/h sebességgel. Ez volt az emberiség történetének legnagyobb földcsuszamlása; a megmozgatott anyag mennyisége akkora volt, hogy Manhattant 120 méter mélyen betemethette volna. Egy perc múlva a meggyengített hegyoldalú St. Helens ötszáz hirosimai méretű atombomba erejével robbant fel, gyilkos, forró felhőt fellövellve 1050 km/h sebességgel – ez nyilvánvalóan túl nagy sebesség volt ahhoz, hogy bárki is szemmel tudja követni. Többen megsérültek azok közül is, akik biztonságos távolban – gyakran látótávolságon kívül – hitték magukat a tűzhányótól, ötvenheten pedig meg is haltak. Huszonhárom holttest nem is került elő. Ez a szám még nagyobb lenne, ha nem lett volna vasárnap, hétköznap ugyanis favágók dolgoztak a környéken. Még 30 kilométer távolságban is történt haláleset.

Aznap a legszerencsésebb Harry Glicken, egy végzős egyetemi hallgató volt. Ő volt szolgálatban egy 9 kilométeres távolságban lévő megfigyelőállomáson, de mivel felvételi beszélgetésre kellett mennie Kaliforniába május 18-án, a kitörés előtti napon elhagyta a helyszínt. Helyét David Johnston

vette át. Ő adott elsőként hírt a vulkánkitörésről; pár pillanattal utána meghalt. Testét nem találták meg. Glicken szerencséje sem tartott ki sokáig; tizenegy évvel később tagja volt annak a negyvenhárom fős tudós- és újságírócsapatnak, amely meghalt a japán Unzen tűzhányó kitörésekor a túlhevült, halálos hamu, – gáz- és lávakitöréstől (piroklasztikus ömléstől); ezt a vulkánt is tragikusan félreismerték.

Lehet, hogy a vulkanológusok a világ legrosszabb tudósai, ha egy esemény előrejelzéséről van szó, és biztos, hogy ők veszik a legkevésbé észre, ha előrejelzéseik nem helyesek. Az unzeni események után nem egészen két évvel az Arizonai Egyetem professzora, Stanley Williams vezetésével egy kutatócsoport ereszkedett le a működő kolumbiai Galeras tűzhányóba. Az elmúlt évek tragédiái ellenére csak tizenheten viseltek védősisakot vagy más védőfelszerelést. A vulkán kitört, hat tudós és három turista meghalt, mások súlyosan megsebesültek, Williams is.

Williams felháborítóan öntelt, *A Galeras kitörése: Egy kutató a vulkánokról és megmenekülésének történetéről (Surviving Galeras)* című könyvében azt írja, „csodálkozva csóválta a fejét", amikor megtudta, hogy más vulkanológusok szerint nem vett észre vagy nem vett figyelembe egyes fontos, közelgő vulkánkitörésre utaló jeleket, és felelőtlenül viselkedett. „Milyen könnyű ezt mondani utólag, mai tudásunkat az 1993-as eseményekre alkalmazva", írja. Szerinte ő semmiben nem hibázott, csak az időzítéssel volt egy kis gond, és a Galeras „szeszélyes viselkedésével, ami a természeti erőknek amúgy is sajátja. Megtévesztő volt a helyzet, és ezért vállalom a felelősséget. Nincsen bűntudatom kollégáim halála miatt. Senki nem követett el bűnt, csak egy vulkánkitörés történt".

Térjünk vissza Washington államba. A St. Helens felső 400 métere megsemmisült, és 600 négyzetkilométernyi erdő elpusztult. Ez elég fát adott volna 150 000 (mások szerint 300 000) családi ház felépítéséhez. Az anyagi kár 2,7 milliárd dollár. Tíz percen belül hatalmas füst- és hamuoszlop emelkedett 18 000 méter magasra. Egy 48 kilométerre elhaladó utasszállító repülőgépet is kövek verdestek.

Kilencven perccel a robbanás után hamu kezdett hullani az állam Yakima nevű településére, a vulkántól 130 kilométerre. Mint várható volt, a hamutól elsötétedett az ég, és mindenbe belekerült: eltömte a motorokat, generátorokat és más elektromos berendezéseket, a szabadban tartózkodók fuldokolni kezdtek tőle, elzárta a szűrőrendszereket, egyszóval leállította az életet. A repülőteret bezárták, csakúgy, mint a városba és az onnan kivezető országutakat.

Mindez egy olyan tűzhányótól szélirányban nem messze történt, amelyik már két hónapja fenyegetően morajlott. Yakimában ennek ellenére nem készítettek tervet vulkánkitörés esetére. A város szükséghelyzetben használatos rádióadóját, amire igazán nagy szükség lett volna, nem kapcsolták be, mert „a vasárnap reggel ügyeletes személyzet nem tudta, hogyan kell használni". Yakima három napra megbénult, és elzáródott a világtól. A várost másfél centis hamuréteg borította be a St. Helens kitörése miatt. Most képzeljük el, mi történne, ha a Yellowstone Parkban történne egy kitörés.

15.
VESZÉLYES SZÉPSÉG

Bob Christiansen, az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatának munkatársa az 1960-as években a Yellowstone Nemzeti Park tanulmányozása során egy furcsaságra lett figyelmes, amit előtte senki nem vett észre: a parkból hiányzik a vulkán. Régóta tudták, hogy a Yellowstone vulkáni eredetű – ezért vannak benne gejzírek és más gőzök –, és a vulkánokat általában elég könnyű észrevenni. De akkor hogy lehet az, hogy Christiansen most egyszerűen nem találja a Yellowstone vulkánt? Pontosabban sehol nem lát kalderát.

Amikor elképzelünk egy vulkánt, legtöbben a klasszikus csonka kúpra gondolunk, mint amilyen a Fuji vagy a Kilimandzsáró; ilyen jön létre, amikor a kilövellő magma szimmetrikusan halmozódik fel. Ezek a hegyek módfelett gyorsan képződnek. 1943-ban a mexikói Parícutin-ban egy farmer csodálkozva vette észre, hogy a földjén egy helyen füst tör elő. Egy hét múlva egy 152 méter magas domb csodálkozó tulajdonosa volt. A képződmény növekedése csak két év múlva állt meg, amikor az már majdnem 430 méter magas volt, átmérője pedig elérte a 800 métert. Körülbelül tízezer ilyen benyomulásos vulkán van a Földön, de közülük csak néhány száz működik. De van egy másik, kevésbé ismert vulkánfajta is, amelynek keletkezésekor nem képződik hegy. Az ilyen vulkánok nagy robbanással jönnek létre, egyetlen hatalmas repedés képződik, majd ennek helyén egy óriási beszakadt katlan, a kaldera (caldera latin szó, üstöt vagy katlant jelent). A Yellowstone szemmel láthatóan ilyen típusú hely, de Christiansen nem találta a kalderát.

Egészen véletlenül a NASA éppen ekkor döntött úgy, hogy kipróbál néhány új, légi felvételek készítésére alkalmas fényképezőgépet, és a Yellowstone Parkot választották helyszínül. Egy figyelmes NASA-hivatalnok a fényképek másolatát elküldte a nemzeti parknak, gondolván, hogy ott bizonyára szívesen kiállítják azokat. Amikor Christiansen meglátta a felvételeket, azonnal tudta, hogy miért nem találta a kalderát. A kaldera tulajdonképpen az egész 9000 négyzetkilométeres park volt. A robbanás után egy majdnem 65 kilométer átmérőjű kráter keletkezett, ami túl nagy ahhoz, hogy a földön állva észre lehessen venni. Valamikor régen a Yellowstone akkora erővel robbanhatott fel, amekkorát ember még nem látott.

A Yellowstone ezek szerint egy szupervulkán. A Föld egy hatalmas úgynevezett forró pontja fölött foglal helyet. A forró pontok olvadt kőzettel vannak tele, az aljuk legalább 200 kilométerre benyúlik a Föld belsejébe, a tetejük pedig majdnem a felszínt éri, ahol úgynevezett szuperfelboltozódást képez. A forró pontok hője táplálja a Yellowstone összes kürtőjét, gejzírjét, melegvizes forrását és bugyborékoló iszapgejzírjét. A felszín alatt van egy 72 kilométer átmérőjű – körülbelül a park méretével megegyező – és a legvastagabb részén 13 kilométer magas magmakamra. Képzeljünk el egy megyényi méretű, 13 kilométer magas, tehát a legfelső cirruszfelhőkig érő TNT-hegyet. A Yellowstone park látogatói egy ilyenen sétálgatnak. Egy ilyen magmatömeg akkora nyomást fejt ki, hogy a felette lévő földkérget az egész Yellowstone parkkal és környékével együtt körülbelül fél kilométerrel magasabbra emelte, mint ahol lehetne. Ha felrobban, az elképzelhetetlen katasztrófát okoz. Bill McGuire, a London University College-hoz tartozó Benfield Kockázatkutató Központ igazgatója szerint „senki nem maradna életben a vulkán ezer kilométeres környezetében, ha kitörne”. A további következmények pedig beláthatatlanok.

Az olyan szuperfelboltozódások, mint amilyenen a Yellowstone helyezkedik el, olyanok, mint a martinis poharak: vékonyabban kezdődnek a mélyben, de a felszín közelében kiszélesedik a hatalmas, instabil magmát tartalmazó katlan. Egy-egy ilyen üst akár 1900 kilométer átmérőjű is lehet. A legújabb elméletek szerint nem mindig robbanással törnek ki, de néha hatalmas olvadtkő-folyam indul meg, mint 65 millió éve az indiai Dekkán-fennsíkon, amikor a láva több mint 500 000 négyzetkilométert borított be, és valószínűleg hozzájárult a dinoszauruszok eltűnéséhez – hogy jót nem tett nekik, az biztos – a kibocsátott mérgező gázok miatt. A szuperfelboltozódások okozhatják a kontinensek töréséért felelős hasadékokat is.

Az ilyen feláramlások egyáltalán nem ritkák. Ebben a pillanatban a Földön körülbelül harminc ilyen működik. Ezek hozták létre a világ legismertebb szigeteit és szigetláncait: Izlandot, Hawaiit, az Azori- és a Kanári-szigeteket, a Galápagos-szigetcsoportot, a Csendes-óceán déli részén lévő kis Pitcairnt és még sok másikat is. A Yellowstone az egyetlen, amelyik nem óceánban van. A geológusoknak fogalmuk sincsen, hogyan és miért keletkezett a Yellowstone egy szárazföldi kőzetlemezen. Csak két dolog biztos: a Yellowstone alatt vékony a földkéreg, alatta pedig nagy forróság van. De hogy a földkéreg a forró pont miatt vékony, vagy azért lehet ott forró pont, mert a földkéreg ilyen vékony, az forró viták tárgya. Mivel a kéreg szárazföldi, a kitörések másmilyenek, mintha óceáni lenne. A többi szupervulkán folyamatosan, különösebb károkozás nélkül bocsátja ki forró tartalmát, a Yellowstone azonban robbanásszerűen tör ki. Nem gyakran, de amikor igen, akkor nem szeretnénk a közelben lenni.

Amennyire tudjuk, a Yellowstone szupervulkán első kitörése 16,5 millió éve lehetett. Azóta körülbelül százszor tört ki, de általában csak a legutóbbi három kap nagyobb figyelmet. Az utolsó ezerszer akkora volt, mint a St. Helens kitörése, az azelőtti 280-szor, és az azt megelőző olyan hatalmas, hogy azt el sem tudjuk képzelni. Legalább a St. Helens 2500-szorosa, de lehet, hogy 8000-szerese.

Ezt nem tudjuk mihez hasonlítani. A közelmúlt legnagyobb vulkánkitörését az indonéziai Krakatau idézte elő 1883 augusztusában; a robbanás kilenc napon át visszhangzott az egész Földön, és még a La Manche csatorna vizét is megmozgatta. De ha azt mondjuk, hogy a Krakatau-ból távozott anyag mennyisége egy golflabdányi, akkor a Yellowstone legnagyobb robbanásából egy akkora gömb ömlött ki, ami mögött bátran elbújhatnánk. Ezen a skálán a St. Helens körülbelül borsószemnyi.

A Yellowstone kétmillió évvel ezelőtti kitörésekor elég hamu került a légkörbe, hogy New York államot 20 méter vastagon, vagy Kaliforniát 6 méter vastagon beterítse. Ezt a hamuréteget találta meg Mike Voorhies, mint őskövületréteget Kelet-Nebraskában. A robbanás a mai Idaho területén történt, de mivel a földkéreg több millió éven át évi 2,5 cm-es sebességgel mozgott fölötte, ma Északnyugat-Wyomingban lenne. (Maga a forró pont egy helyben marad, mint egy, a mennyezetre irányított hegesztőpisztoly.) A nyomában termékeny vulkáni talajú síkságok maradnak, amelyek tökéletesek a burgonyatermesztéshez, ahogy azt minden idahói földműves jól tudja. A geológusok szeretnek azzal tréfálkozni, hogy kétmillió év múlva a Yellowstone lesz a McDonald's fő hasábburgonya-szállítója, viszont a Montana állambeli Billings lakosságának majd gejzíreket kell kerülgetniük.

Az utolsó yellowstone-i kitörésből kiszabadult hamu beterítette a tizenkilenc nyugati államot vagy egy részüket, valamint Mexikó és Kanada egyes vidékeit, vagyis az egész Egyesült Államokat a Mississippitől nyugatra. Ezt a vidéket Amerika kenyereskosaraként szokták emlegetni, hiszen itt termesztik a világ gabonamennyiségének majdnem a felét. És a hamu nem olyan, mint egy nagy havazás, ami tavasszal szépen elolvad. Ha ismét vetni kellene, vajon hová tennénk a rengeteg hamut? A World Trade Center maradványait a 6,5 hektáros területről nyolc hónap alatt hordta el több ezer munkás. Vajon mennyi idő alatt lehetne egész Kansast kitakarítani?

És akkor még nem beszéltünk a vulkánkitörésnek az időjárásra gyakorolt hatásáról. A Földön az utolsó szupervulkán-kitörés Szumátra déli részén, Tobában történt 74 000 éve. Senki nem tudja, mekkora lehetett, de az biztos, hogy hatalmas volt. A grönlandi jégmintákból látszik, hogy a robbanás után legalább hat év „vulkáni tél” következett, és utána még ki tudja, hány év, amikor nagyon rossz volt a termés. Ez majdnem az ember kihalásához vezetett; becslések szerint alig néhány ezren maradtak életben. Ez azt jelenti, hogy ugyanabból a kis populációból származunk, ami megmagyarázza, hogy genetikailag miért vagyunk ilyen kevéssé különbözők. És olyan elmélet is van, hogy a következő húszezer évben soha nem élt egyszerre több mint pár ezer ember a Földön. Ez az időszak szükségtelenül hosszúnak tűnik egyetlen vulkánkitörés kiheverésére.

Ez az egész csak érdekes elméleti fejtegetés volt egészen 1973-ig, amikor egy furcsa jelenség hirtelen jelentőséget adott neki: a Yellowstone-tó vize kiömlött a déli parton, és elárasztott egy rétet, az északi parton viszont titokzatos módon visszahúzódott a víz. A geológusok gyorsan megvizsgálták a jelenséget, és rájöttek, hogy a park egy nagy része vészjóslóan kiemelkedett. Ez emelte fel a tó egyik szélét, és ezért ömlött ki a víz a másikon, mintha egy felnőtt megemelné egy kisgyerek kerti pancsolóját. 1984-re a park középső, 100 négyzetkilométeres része több mint egy méterrel magasabban feküdt, mint 1924-ben, amikor a parkot utoljára hivatalosan felmérték. 1985-ben a park közepe 20 centiméterrel lejjebb süllyedt, de úgy tűnik, hogy ismét emelkedik.

A geológusok rögtön tudták, hogy ennek csak egy oka lehet: egy állandóan mozgolódó magmakamra. A Yellowstone nem egy rég kialudt vulkán, hanem nagyon is aktív. Körülbelül ekkor jutottak arra az eredményre, hogy a Yellowstone nagy kitörései körülbelül 600 000 évenként követik egymást. A legutóbbi ilyen 630 000 éve történt. A Yellowstone ezek szerint bármikor kitörhet.

– Lehet, hogy nem úgy néz ki, de a világ legnagyobb működő vulkánján állunk – mondta Paul Doss, a Yellowstone Nemzeti Park geológusa nem sokkal azután, hogy leszállt hatalmas Harley-Davidsonjáról, és kezet fogtunk a park központjában, a Mammoth Hot Springsnél („Mamuthőforrásoknál”) egy gyönyörű júniusi nap reggelén. Doss Indiana államból származik; barátságos, halk szavú, rendkívül figyelmes ember, akiről az ember nem is hinné, hogy egy nemzeti park alkalmazottja. Szakálla őszül, hosszú haját hátul összefogva hordja. Egyik fülét kis zafír fülbevaló díszíti. Kezdődő sörhasa kissé kidomborítja makulátlan nemzeti parki egyenruháját. Inkább blueszenésznek gondolnánk, mint állami alkalmazottnak. És nem tévedünk, valóban blueszenész (harmonikázik). De ettől még szereti a geológiát, és meglehetősen ért is hozzá.

– Ezt a világon a legjobban itt lehet művelni – mondta.

Miután beszálltunk egy rozoga, négykerék-meghajtású autóba, elindultunk az Old Faithful („Öreg Hűséges”) gejzír irányában. Beleegyezett, hogy aznap vele tartsak, és megfigyeljem munkája közben. Mai első feladata egy bevezető előadás volt idegenvezetőknek.

Yellowstone a világ egyik leggyönyörűbb helye, tömzsi hegyeivel, mezőkön legelő bölényeivel, köveken bukdácsoló patakjaival, égszínkék tavával és változatos vadvilágával. – Ennél egy geológusnak tényleg nem lehet szebb munkája – mondta Doss. – Fenn, a Beartooth Gapnél majdnem hárommilliárd éves kövek vannak, vagyis a Föld korának egynegyede[49] óta ott vannak, itt pedig ásványvízforrások – és rámutat a forró, kénes forrásokra, amelyekről a Mammoth Hot Springs a nevét kapta –, ahol láthatjuk a köveket kialakulni. És közben itt van minden más is, amit csak el lehet képzelni. Soha nem jártam ehhez hasonló helyen, ahol a geológia ilyen nyilvánvaló, vagy ennyire gyönyörű lenne.

– Tehát szeret itt dolgozni? – kérdeztem.

– Nem szeretek, imádok – válaszolt teljesen őszintén. – Úgy értem, csodálatos itt lenni. Télen hideg

van ugyan, és a fizetés sem túl sok, de amikor jó...

Itt megállt, hogy megmutasson egy kis részt a távoli nyugati hegyláncban, ami csak most lett látható. A hegyek neve Gallatin. – A rés, amit látunk, talán 90-110 kilométeres lehet. Sokáig nem értették, hogyan került oda, de Bob Christiansen rájött, hogy ott is voltak hegyek, csak felrobbantak. Ahol száz kilométernyi hegy csak úgy fel tud robbanni, ott hatalmas energiák lehetnek működésben. Christiansen hat év alatt jött erre rá.

Megkérdeztem, hogy mitől szokott a Yellowstone felrobbanni.

– Nem tudom. Senki sem tudja. A vulkánok fura szerzetek. Egyáltalán nem ismerjük a működésüket. Az olasz Vezúv háromszáz éven át, az 1944-es kitörésig működött, majd egyszer csak elcsendesedett, és azóta is ez a helyzet. Egyes vulkanológusok úgy gondolják, most töltődik fel egy hatalmas kitöréshez, ami egy kicsit aggasztó, mert kétmillióan élnek körülötte. De valójában nem tudja senki a választ erre a kérdésre.

– És mennyivel hamarabb tudnánk, hogy kitör a Yellowstone?

Megvonta a vállát.

– Senki nem volt itt, amikor legutóbb kitört, ezért senki nem tudja, milyen figyelmeztető jeleket várhatunk. Vélhetően rengeteg földrengés előzné meg, a felszín egy része felemelkedne, és megváltozna a gejzírek és gőzkürtők kitörési rendje, de biztosat senki nem tud.

– Akkor lehet, hogy figyelmeztetés nélkül érkezne?

Elgondolkodva bólintott. Elmagyarázta, hogy az a gond, hogy a figyelmeztető jelnek vehető jelenségek közül bizonyos mértékben szinte mindegyik állandóan történik a parkban.

– A vulkánkitöréseket általában földrengések előzik meg, de már nagyon sok földrengésünk volt; csak tavaly 1260. Legtöbbjüket nem is érezni, de akkor is földrengések.

Ha a gejzírek más ütemben törnének fel, az is figyelmeztető jel lehetne, de néha váratlanul megváltoznak akkor is, ha semmi baj nem közeleg. A park leghíresebb gejzírje régebben az Excelsior volt. Rendszeresen kitört, és akár 100 méter magasságba lövellt, de 1888-ban egyszer csak leállt. 1985-ben ismét kitört, bár csak 25 méterre. A Steamboat („Gőzhajó”) a világ legnagyobb gejzírje, amikor működik, hiszen 120 méter magas vízsugár tör fel belőle, de a kitörések között volt, hogy csak négy nap, és volt, hogy 50 év telt el.

– Ha ma beindulna, és jövő héten ismét, arról az égvilágon semmire nem tudnánk következtetni – mondta Doss. – Az egész terület annyira változékony, hogy gyakorlatilag egyik jelenségből sem lehet semmi tanulságot levonni.

A Yellowstone parkot nem lenne egyszerű kiüríteni. Évente körülbelül hárommillióan látogatnak ide, a legtöbben a három nyári hónapban. Viszonylag kevés, szándékosan keskeny út vezet át a parkon, egyrészt a forgalom lassítására, másrészt, hogy ne zavarja meg a természetes összképet, azon kívül a felszín sem enged másféle utakat. A nyári csúcsforgalomban akár fél napba is telhet, mire valaki átszeli a parkot, és a belső látnivalók között is többórás utak húzódnak.

– Amikor valaki egy autóból állatokat lát, egyszerűen megáll, hogy gyönyörködjék bennük. Nálunk tehát a medvék, a bölények és a farkasok okozzák a forgalmi dugókat.

2000 őszén az Egyesült Államok Geológiai Szolgálata és a nemzeti park képviselői néhány más tudóssal együtt megalapították a Yellowstone Vulkánmegfigyelő Állomást. Ilyen testület már létezett az ország négy pontján: Hawaiiban, Kaliforniában, Alaszkában és Washingtonban – a világ legnagyobb vulkáni zónájában azonban még nem. Tulajdonképpen nem is igazi testületről van szó, inkább csak egy kinyilvánított szándékról: megegyeztek, hogy intenzívebben fogják tanulmányozni és elemezni a

park különleges, sokféle geológiai tulajdonságát. Doss egyik első feladata egy „földrengési és vulkánkitörési vészhelyzetkezelő terv” elkészítése volt.

– Eddig ilyen nem volt? – kérdeztem.

– Nem, sajnos. De hamarosan elkészül.

– Nem lesz baj a késlekedésből?

– Hát, az biztos, hogy nem siettük el – mosolygott.

Amikor majd elkészül a terv, három ember (Christiansen a kaliforniai Menlo Parkban, Robert B. Smith, az Utahi Egyetem professzora és Doss) meg tudják állapítani, hogy milyen fokú veszéllyel járhat egy esetleges katasztrófa, és közlik ezt a park vezetőjével. A vezető ennek alapján eldönti, hogy ki kell-e üríteni a parkot. A park körül lévő területekre nincsen terv. Aki elhagyja a parkot, az magára van utalva – nem sok jó vár rá, ha a Yellowstone igazán nagyot robban.

Természetesen lehetséges, hogy addig még több tízezer év telik el. Doss szerint lehet, hogy a vulkán soha nem fog már kitörni.

– Csak mert a múltban mutatott némi szabályosságot, nem biztos, hogy még mindig ugyanúgy működik – mondja – Egyes bizonyítékok arra utalnak, hogy hatalmas robbanássorozatok és hosszú nyugalmi időszakok váltják egymást. Lehet, hogy most az utóbbit éljük. Tudjuk, hogy a magmakamra legnagyobb része hűlőben és kristályosodóban van. Gáznemű anyagai folyamatosan távoznak, a robbanáshoz pedig az kellene, hogy felgyűljenek.

Közben számos más veszély is leselkedik a Yellowstone-parkra és környékére. Ennek borzasztó jele mutatkozott meg 1959. augusztus 17-én, a park közelében lévő Hebgen-tónál. Húsz perccel éjfél előtt hatalmas földrengés rázta meg a környéket. 7,5 magnitúdós volt, ami nem tartozik a legnagyobbak közé, de olyan gyors volt, hogy egy egész hegyoldalt leszakított. A nyári turistaszezon közepe volt, de szerencsére akkoriban még nem látogatták annyian a Yellowstone parkot, mint manapság. Nyolcvanmillió tonna kő robogott le a hegyről 160 km/órás sebességgel; akkora erővel, hogy a lendület a földcsuszamlás legalsó részét 120 méterre feltolta a szomszédos hegyre. A lavina átzúdult a Rock Creek kempingen, ahol huszonnyolcan életüket vesztették, ebből tizenkilenc embert nem is találtak meg. A pusztítás gyors volt és szívet tépően kiszámíthatatlan. Három, egy sátorban alvó fivér megmenekült. Szüleik mellettük aludtak egy másik sátorban – soha többé nem látták őket.

– Nagy földrengés, hangsúlyozom: nagy, fog itt még történni – mondta Doss. – Erre számíthat. Itt nagy esélye van a földrengésnek.

A hebgen-tavi földrengés és a többi kockázati tényező ellenére a Yellowstone csak 1970-ben kapott állandó földrengésjelzőt.

Ha egy példát kellene felhoznunk a geológiai folyamatok nagyságára és könyörtelenségére, gondoljunk a Teton-hegységre, a Yellowstone Nemzeti Parktól délre fekvő, pazarul csipkézett hegyláncra. Kilencmillió évvel ezelőtt ez a hegység még nem létezett. A Jackson Hole körül füves síkság terült el. Azután megnyílt egy 64 kilométeres szakadék, és azóta körülbelül kilencszáz évenként hatalmas földrengés tör ki a Teton-hegység körül, ami alkalmanként körülbelül két métert emel rajta. Mivel ez meglehetősen régóta folyik, a hegylánc ma 2000 méter magas.

A kilencszáz év persze csak átlagos adat – és kicsit félrevezető. Robert B. Smith és Lee J. Siegel azt írják *Windows into the Earth* (Ablakok a Föld mélyébe) című, a vidék geológiai történetével foglalkozó könyvükben, hogy az utolsó nagy, a Tetont megemelő földrengés valamikor öt-hétezer éve

volt. Ha lehetne számítani valamiféle rendszerességre a földrengések tekintetében, minden bizonnyal itt kellene lennie a következőnek.

Nagy veszéllyel járnak a hidrotermális kitörések is. Bármikor előfordulhatnak, és nincs módszer az előrejelzésükre.

– A látogatókat szándékosan termális medencékbe tereljük – mondta Doss, miután végignéztük az Old Faithful menetrend szerinti kitörését. – Ezt akarják látni. Tudta, hogy a Yellowstone parkban több gejzír és hőforrás van, mint az egész világon együttvéve?

– Nem, ezt nem tudtam.

Bólintott. – Tízezer van, és nem lehet tudni, mikor nyílik meg egy újabb kürtő.

Elautóztunk egy Duck Lake nevű helyre, egy kb. kétszáz méter átmérőjű tavacskához. – Teljesen ártalmatlannak látszik, csak egy nagy pocsolya. De ez a mélyedés csak nemrég van itt. Valamikor az utolsó tizenötezer év folyamán itt nagy robbanásnak kellett lennie. Valószínűleg több tízezer tonna föld, kő és forró víz tört fel a hangsebességnél több mint ötször gyorsabban. Ne is gondoljunk rá, mi lenne, ha, teszem azt, az Old Faithful parkolójában vagy az egyik információs központ alatt történne ilyesmi. – Nem tűnt túl boldognak a gondolattól.

– Lehetne előre sejteni egy ilyen katasztrófát?

– Valószínűleg nem. A parkban az utolsó jelentős robbanás egy Pork Chop Geyser („Sertéskotlett-gejzír") nevű helyen történt, 1989-ben. Ott körülbelül ötméteres kráter keletkezett, ami nem nagy, de elég kellemetlen annak, aki éppen ott áll. Szerencsére akkor éppen senki nem járt arra, és senki nem sérült meg, de a dolognak semmi jelét nem láttuk előre. Nagyon régen akkora robbanások voltak, amelyek egy-két kilométer átmérőjű gödröket hagytak maguk után. Senki nem tudja, hol és mikor lesz egy újabb ekkora kitörés. Csak reménykedhetünk, hogy nem leszünk a közelben, amikor bekövetkezik.

A kőomlások is veszélyesek lehetnek. 1990-ben volt egy nagy kőlavina a Gardiner Canyonban, de szerencsére ennek sem volt sérültje.

Késő délután Doss-szal megálltunk a park egy forgalmas útjának egy pontján, amely felett egy szikla nyúlik ki. Repedezett szikla. – Bármikor elereszthetti magát – mondta Doss elgondolkodva.

– Maga viccel – tiltakoztam. Nem volt olyan pillanat, hogy ne haladt volna el legalább két autó a szikla alatt, tele vidám kirándulókkal.

– Nem mondtam, hogy valószínű – tette hozzá. – Csak azt, hogy megtörténhet. De az is lehet, hogy még évtizedekig így marad. Nem tudjuk. Az idelátogatók tisztában vannak vele, hogy ez egy veszélyes hely. Ennyi.

Visszamentünk az autóhoz, hogy visszatérjünk Mammoth Hot Springsbe. Doss még hozzátette: – Az az igazság, hogy a rossz dolgok legtöbbször nem következnek be. A sziklák nem szakadnak ránk. Nem lesz földrengés. Nem nyílnak hirtelen új kürtők. Bár az egész hely instabil, általában meglehetősen nagy béke van itt.

– Mint az egész Földön – jegyeztem meg.

– Pontosan.

A Yellowstone veszélyei nemcsak a látogatókat érintik, hanem a park alkalmazottait is. Doss ezt már az első héten megtapasztalta, amikor öt éve munkába állt. Egy éjszaka, három nyári munkára felvett fiatal a szabályok ellenére „szaunázott", vagyis úszkált és melegedett a forró medencékben. Bár a park nyilvánvaló okokból ezt nem hirdeti, vannak elviselhető hőmérsékletű, sőt kellemesen meleg ta-

vak is. Az idénymunkások kedvelt szórakozása volt ezekben időzni, bár tudták, hogy tilos. Ennek a három embernek sajnos még az sem jutott eszébe, hogy lámpát vigyen magával, ami azért nagyon veszélyes, mert a meleg tavak körül a talaj nagyon könnyen beszakad, és a vigyázatlan ember könnyen egy forró kürtőben találhatja magát. Amikor a fürdőzés után vissza akartak térni a szállásukra, elértek egy patakhoz, amelyet a tó felé mentükben már átugrottak. Hátráltak egy pár lépést, összekapaszkodtak, és háromra nekifutásból ugrottak. De sajnos nem a pataknál voltak, hanem egy forró (forrásban lévő) medencénél, mert a sötétben eltévedtek. Egyikük sem élte túl a kalandot.

Ez jutott eszembe másnap reggel, amikor a parkból kifelé menet beugrottam egy Emerald Pool nevű helyre a felső gejzírmedencében. Előző nap Dossnak nem volt ideje, hogy oda is elvigyen, de gondoltam, legalább egy pillantást vetek rá, hiszen az Emerald Pool történelmi hely.

1965-ben Thomas és Louise Brock, egy biológus házaspár nyári tanulmányútjukon furcsa dolgot művelt. Megvizsgálták, hogy van-e élet a tó partján lévő sárgásbarna tajtékban. Nagy meglepetésükre (majd később az egész világ nagy meglepetésére) a minta tele volt élő mikrobával. Megtalálták a világ első extremofil élőlényeit, tehát olyan lényeket, amelyek például olyan vízben is megélnek, amely túl savas, túl forró vagy túl kénes ahhoz, hogy az addig ismert életformák megmaradjanak benne. Az Emerald Poolnak a fent felsorolt mindhárom rossz tulajdonsága megvan, és mégis volt benne legalább két élőlény: a Sulpholobus[50] acidocaldarius és a Thermophilus aquaticus. Korábban mindenki azt hitte, hogy 50 °C felett nincsen élet, de ezek az élőlények itt szaunáztak, ebben a majdnem kétszer ilyen forró, savas vízben.

A Brock házaspár egyik új baktériuma, a Thermophilus aquaticus majdnem húsz évig puszta laboratóriumi érdekesség maradt. Ekkor viszont egy kaliforniai tudós, Kary B. Mullis felfedezte, hogy a sejtet felépítő hőálló enzimeket fel lehetne használni egy kis kémiai trükkhöz, a polimeráz láncreakcióhoz, amellyel nagy mennyiségű DNS-t lehet előállítani egészen kevés alapanyagból – ideális esetben mindössze egyetlen molekulából. Olyan ez, mint valamiféle genetikai fénymásolás, így ez lett az utána következő összes genetikára épülő tevékenység alapja, az elméleti kutatástól a törvényszéki orvostanig. Mullis ezen a területen elért eredményeiért kapott kémiai Nobel-díjat 1993-ban.

Azóta már ennél is szívósabb mikrobákat, hipertermofileket is ismerünk, amelyek legalább 80 °C-on élnek. Az eddigi legmelegebb helyen fellelt élőlény a Pyrolobus fumarii[51] (Frances Ashcroft ír róla *Life at the Extremes* – Élet extrém körülmények között – című könyvében), amely az óceáni hőkürtők falán él, ahol a hőmérséklet akár 113 °C is lehet. Valószínűleg semmiféle élet nem maradhat fenn 120 °C-nál nagyobb melegben, de ezt még nem tudjuk pontosan. A Brock házaspár felfedezése mindenképpen megváltoztatta az élővilágról eddig alkotott elképzeléseket. Jay Bergstralh, a NASA tudósa ezt így fogalmazta: „A Földön bárhol, még az élet szempontjából legellenségesebb környezetben is, ha van folyékony halmazállapotú víz és valamiféle kémiai energia, életet találunk.”

Az élet, mint kiderült, sokkal ügyesebb és alkalmazkodóbb, mint azt eddig bárki is gondolta volna. És ez nagyon jó, mert, mint látni fogjuk, olyan világban élünk, amely nem feltétlenül támogatja fennmaradásunkat.

V.
MAGA AZ ÉLET

„Minél közelebbről vizsgálom a világegyetemet, és tanulmányozom szerkezetének részleteit, annál több bizonyítékot találok arra, hogy a világegyetem egy bizonyos értelemben tudta, hogy jön az ember.”
Freeman Dyson

16.
A MAGÁNYOS BOLYGÓ

Nem könnyű élőlénynek lenni. Jelenlegi tudásunk szerint az egész világegyetemben csak egyetlen hely van, ahol az olvasó életben maradhat: a Föld, a Tejút jelentéktelen előretolt állásán, de sokszor még itt sem túl egyszerű dolog ez.

A legtöbb ismert életforma a legmélyebb óceáni árok feneke és a legmagasabb hegy teteje közötti sávban él, tehát egy körülbelül 20 kilométer vastag rétegben; ez bizony elenyészően kicsi terület a kozmosz méreteihez képest.

Az embereknek még szűkebbek a lehetőségei, hiszen azok közé az élőlények közé tartozunk, akiknek a távoli ősei meggondolatlanul arra vállalkoztak, hogy kimásszanak a tengerekből, és ezentúl a földön éljenek, és a levegőből merítsenek oxigént. Így hát – egy becslés szerint – a világ lakható részének 99,5 térfogatszázaléka gyakorlatilag teljesen elérhetetlen számunkra.

Nemcsak az a gond, hogy a vízben nem kapunk levegőt, de a nyomást sem lennénk képesek elviselni. Mivel a víz 1300-szor nehezebb a levegőnél, a nyomás nagyon gyorsan emelkedik, amikor lebukunk a víz alá: 10 méterenként 1 atmoszférával. A szárazföldön egy 150 méteres magasság megmászásakor – például, ha felmegyünk a Gellérthegyre – nem is érzékelhető a nyomáskülönbség. Ha ugyanennyire merülnénk a víz alá, ereink összepréselődnének, tüdőnk pedig italosdoboz méretűre zsugorodna. Különös, de akadnak köztünk, akik mégis ilyen mélységekbe merészkednek, méghozzá légzőkészülék nélkül; ez a szabadmerülés nevű sport lényege. Úgy látszik, őket az villanyozza fel, ha belső szerveiket durván átformálják (bár ez annyira nem lehet jó érzés, mint amikor, a felszín felé közeledve, azok visszanyerik eredeti alakjukat). Az ilyen mélységek eléréséhez a könnyűbúvárokat súlyokkal kell viszonylag gyorsan lehúzni. Segítség nélkül eddig legfeljebb 72 méterre ment le olyan ember, aki utána még be is tudott számolni az átéltekről. Umberto Pelizzari 1992-ben körülbelül egy nanoszekundumot töltött ebben a mélységben, majd sietett vissza a felszínre. Vízszintes irányban a 72 méter rövidebb, mint egy jó nagy kapuskirúgás a focipályán. Tehát még legszertelenebb mutatványaink kapcsán sem mondhatjuk el, hogy urai vagyunk a mélységnek.

Más élőlények viszont képesek alkalmazkodni a mélységben uralkodó nyomáshoz, bár még nem tisztázott, hogy egyesek ezt hogyan teszik. Az óceán legmélyebb pontja a csendes-óceáni Marianaárok. Az ottani 11,3 kilométeres mélységben a nyomás több, mint 1125 kilogramm négyzetcentiméterenként. Egyszer, egy rövid időre járt már ott ember egy robusztus merülő járműben, de védelem nélkül ott csak egy, a garnélarákhoz hasonló, de átlátszó bolharákféle telepei élnek meg. Persze az óceánok ennél általában sekélyebbek, de még az átlagosan 4 kilométeres óceánmélységben is akkora nyomás nehezedik az ott élőkre, mintha tizennégy betonkeverő autót pakolnának rájuk.

Majdnem mindenki – még oceanográfiai ismeretterjesztő művek szerzői is – úgy gondolja, hogy az emberi test összeroppanna a mélyóceán hatalmas nyomásától. Valójában nem ez a helyzet. Mivel magunk is főként vízből vagyunk, az pedig Frances Ashcroft, az Oxfordi Egyetem tanára szerint „gyakorlatilag összenyomhatatlan, a test nyomása megegyezik az azt körülvevő vízével, ezért a mélység nem nyomja össze”. A testünkben lévő gázok, elsősorban a tüdő levegője okozzák a problémát. Ezek összenyomódnak, bár nem tudjuk, hogy mekkora összenyomódástól halunk meg. Nemrég még úgy gondolták, hogy 100 méter mélyen a tüdő vagy a mellkas összeomlik, és a búvár fájdalmas halált hal, de

a szabadmerülők bebizonyították, hogy ez nem igaz. Ashcroft szerint „úgy látszik, az ember jobban hasonlít a bálnára és a delfinre, mint gondoltuk volna”.

Persze más gond is adódhat. A régi búvárruhák idejében – azokra gondolunk, amelyek hosszú csövekkel össze voltak kötve a felszínnel – a lemerülők néha egy félelmetes jelenséggel találkoztak, amelyet „szorításnak” hívtak. Ez akkor következett be, ha a felszínen a pumpák leálltak, és a búvárruhában drámaian lecsökkent a nyomás. A levegő olyan hevesen hagyta el a ruhát, hogy a boldogtalan búvár szinte szó szerint felszívódott a sisakba és a csőbe. Amikor felhúzták, „a ruhában csak csontok és néhány húscafat maradt”, J. B. S. Haldane biológus 1947-es beszámolója szerint, amihez még hozzátette a kétkedők kedvéért: „Ez történt.”

(Egyébként az első búvársisak, amelyet 1823-ban tervezett az angol Charles Deane, eredetileg nem búvárkodásra készült, hanem tűzoltóruha részeként. „Füstsisaknak” nevezték, de mivel fémből készült, könnyen felmelegedett és ormótlan volt; Deane-nek hamarosan be kellett látnia, hogy a tűzoltók nem szeretnek semmiféle különleges öltözéket viselni, amikor egy égő házba kell behatolniuk, olyat pedig pláne nem, ami a fejük körül vízforralóként felmelegszik, és ráadásul még a mozgásukat is nehezíti. Deane nem hagyta annyiban, kipróbálta víz alatt, és rájött, hogy sisakja ideális lesz a hajómentőknek.)

A mélység legnagyobb fenyegetése azonban a keszonbetegség, nem azért, mert fájdalmas, hanem mert ennek előfordulása a legvalószínűbb. A belélegzett levegő 80%-a nitrogén. Ha viszont a test nyomás alá kerül, ez a gáz apró buborékokká alakul, amelyek behatolnak a vérbe és az egyéb szövetekbe.[52] Ha a nyomás túl gyorsan változik – például, ha egy búvár túl gyorsan jön a felszínre – a testbe zárt buborékok elkezdenek gyöngyözni, mint egy éppen kinyitott pezsgősüvegben, és elzárják a hajszálereket, ezért a sejtekhez nem jut elég oxigén, és olyan fájdalmat okoznak, hogy a búvár kétrét görnyed fájdalmában (erre utal a jelenség angol neve, a „bends”).

A keszonbetegség emberemlékezet óta a szivacs- és gyöngyhalászok foglalkozással járó kockázata volt, de a nyugati világ ezzel nem sokat foglalkozott a XIX. századig. Sőt akkor is csak olyanok kezdtek törődni vele, akik egyáltalán nem szoktak vizesek lenni, vagy csak egy kicsit, mondjuk bokáig. A keszonmunkásokra gondolok. A keszon, magyar nevén süllyesztőszekrény, egy szigetelt kamra a folyómederben, a híd-pillérek építéséhez használják. Sűrített levegő van benne, és gyakran megtörtént, hogy amikor a munkások hosszabb ideig dolgoztak ebben a mesterségesen megnövelt nyomású helyiségben, a bőrük bizsergett, viszketett. Néhányan ízületi fájdalmakat is éreztek, és néha el is ájultak a fájdalomtól, sőt, volt, aki már fel sem kelt.

Nem értették. Voltak munkások, akik este kitűnő közérzettel feküdtek le, másnap reggel viszont arra ébredtek, hogy megbénultak, vagy fel sem ébredtek. Ashcroft a Temze egyik új alagútjának építésvezetőiről mesél, akik bankettel ünnepelték a majdnem elkészült alagutat. Csodálkozva vették észre, hogy a pezsgő nem buborékol az alagút sűrített levegőjében. Viszont amikor este végül kiléptek a londoni levegőre, a buborékok azonnal feléledtek, és érdekes emésztési jelenségeket okoztak.

A keszonbetegséget, azonkívül, hogy elkerüljük a nagy nyomású helyeket, kétféleképpen lehet megbízhatóan elkerülni. Az első módszer: csak nagyon rövid időre szabad kitenni magunkat a nagyobb nyomásnak. Ezért lehetséges, hogy a korábban említett szabadmerülők akár 150 méter mélyre is lemehetnek különösebb káros hatás nélkül. Nem maradnak lent elég ideig, hogy a nitrogén bejusson a szöveteikbe. A másik megoldás: lassan, fokozatosan kell feljönni, mert akkor a nitrogénbuborékok maguktól megszűnnek.

A különleges körülmények közötti túlélésről való ismereteink nagy része egy különleges apa-fiú

párostól, John Scott és J. B. S. Haldane-től származik. A Haldane-ek még hóbortosabbak voltak, mint az angol értelmiségiek általában. Az idősebbik Haldane 1860-ban született egy skót családban (bátyja volt Haldane vikomt), de viszonylag szerényen élt – Oxfordban élettant tanított. Rettenetesen szórakozott volt. Egyszer, miután felesége felküldte, hogy öltözzön át, mert vacsoravendégeket várnak, elfelejtett visszajönni, és később, amikor keresték, kiderült, hogy a pizsamájában alszik az ágyban. Amikor felkeltették, Haldane elmondta, hogy egyszer csak azon vette észre magát, hogy vetkőzik, feltételezte hát, hogy itt a lefekvés ideje. A nyaralás nála azt jelentette, hogy Cornwallba utazik, hogy a bányászok horogférgességét vizsgálja. Aldous Huxley regényíró, T. H. Huxley unokája egy ideig a Haldane családnál lakott, és a *Pont és ellenpont* (Point Counter Point) című könyv lapjain kegyetlen paródiát festett Haldane-ről, Edward Tantamount tudós alakjában.

Haldane azzal segítette elő a búvárkodás fejlődését, hogy kidolgozta, mekkora pihenőidőket kell beiktatni a búvároknak a felszínre jutás közben, hogy ne kapjanak keszonbetegséget, de minden érdekelte, ami az élettannal kapcsolatos, a hegyibetegségtől a sivatagban előforduló hőgutáig. Különösen arra volt kíváncsi, hogy a mérgező gázok milyen hatással vannak az emberi szervezetre. Szerette volna tudni, hogy a szénmonoxid hogyan öli meg a bányászokat, és ezért módszeresen mérgezgette magát, miközben rendszeresen vizsgálta vére összetételét. Csak akkor hagyta abba, amikor már alig volt ura az izmainak, hiszen a vér telítettségi foka már 56%-nál járt – Trevor Norton élvezetes búvártörténelme, a *Stars beneath the Sea* (Tenger alatti csillagok) szerint ez már majdnem a halálos szint.

Haldane fia, Jack, akit az utókor J. B. S. – ként emleget, figyelemre méltó csodagyerek volt, aki részt vett apja munkájában szinte azóta, hogy megtanult beszélni. Feljegyezték, hogy hároméves korában nyűgösen kérdezte apjától: – De akkor ez most oxihemoglobin vagy karboxi-hemoglobin?

Az ifjú Haldane mindig is segédkezett apja kísérleteiben. Tizenéves korában már gyakran ketten vizsgálták a gázokat és a gázmaszkokat; felváltva figyelték, hogy a másik mikor veszíti el az eszméletét.

Bár J. B. S. Haldane nem rendelkezett természettudományi diplomával (az oxfordi bölcsészkarra járt), csodálatos tudóssá képezte magát, és leginkább állami megbízásra dolgozott Cambridge-ben. Peter Medawar biológus, aki egész életét a legzseniálisabb emberek között töltötte, a legokosabbnak tartotta őt ismerősei között. Huxley az ifjabb Haldane-t is parodizálta, ezúttal a *Légnadrág és társai* című regényben, de az emberek génmanipulációjával kapcsolatos gondolatait felhasználta a *Szép új világ* cselekményéhez is. Sok más eredménye mellett Haldane-nek kulcsszerepe volt a darwini fejlődéstan és Gregor Mendel genetikai elméletének összehangolásában; a génkutatók ezt nevezik modern szintézisnek.

Valószínűleg az ifjabb Haldane volt az egyetlen, aki az első világháborút „nagyon élvezetes élménynek” tartotta, és tartózkodás nélkül kijelentette, hogy „élvezi az emberölés lehetőségét”. Maga is megsebesült kétszer. A háború után sok ismeretterjesztő munkát írt, összesen huszonhárom könyve és mintegy négyszáz tudományos cikke jelent meg. Könyvei a mai napig jól olvashatók és tanulságosak, bár nem könnyű fellelni őket. Lelkes marxista volt, bár egy nem teljesen cinikus megjegyzés szerint puszta ellenkezésből; ha szovjetnek született volna, valószínűleg szenvedélyes királypártinak vallotta volna magát. Cikkei legnagyobb része először a kommunista *Daily Worker*ben jelent meg.

Míg apja főképpen a bányászokkal és mérgezési eseteikkel foglalkozott, az ifjabb Haldane rögeszméje a tengeralattjárókon dolgozók és búvárok megóvása volt. A tengerészet anyagi segítségével szerzett egy dekompressziós kamrát, amit ő csak kuktának hívott. Egy akkora fémhengerről van szó, amelybe egyszerre három ember fér bele, akiket a kamra lezárása és a nyomás beállítása után külön-

féle próbáknak lehet alávetni. Ezek a vizsgálatok kivétel nélkül fájdalmasak, és szinte mind veszélyesek voltak. Az önként jelentkezőket például arra kérték, hogy üljenek jeges vízben, miközben „a rendestől eltérő levegőt" lélegeztek be, vagy gyorsan változtatták a nyomást. Az egyik kísérletben Haldane próbaképpen önmagát tette ki egy gyors felmerülést utánzó helyzetnek. Felrobbantak a tömések a fogában. Norton így ír erről: „Szinte minden kísérlet úgy végződött, hogy valaki rohamot kapott, vérzett vagy hányt." A kamra gyakorlatilag hangszigetelő volt, tehát a benne lévők csak úgy tudták kifejezni kétségbeesésüket, hogy a falán dörömböltek, vagy feliratokat tartottak a kis ablakhoz.

Egy másik alkalommal, amikor Haldane túlzott oxigénbevitellel mérgezte magát, olyan súlyos rohama támadt, hogy több csigolyája is eltört. A tüdőösszeomlás csak a szokásos munkaköri kockázatnak számított. A kísérleti alanyok dobhártyája is gyakran kilyukadt, de erről Haldane így nyugtatta meg olvasóit egy dolgozatában: „A dobhártya általában begyógyul. És ha egy kis lyuk marad is, attól csak egy kicsit lesz az ember süketebb, viszont dohányzáskor a füléből is eregetheti a füstöt a társaság mulattatására."

Ebben nem is az a rendkívüli, hogy Haldane ekkora veszélynek és kellemetlenségnek tette ki magát a tudomány érdekében, hanem hogy – hála meggyőzőképességének – akárhány kollégáját és családtagját is rávette, hogy a kamrába másszon. A felesége egyszer egy szimulált mélybe ereszkedéstől tizenhárom perces rohamot kapott. Amikor a padlón fekve nem rángatózott tovább, lábra segítették, hogy hazatérhessen vacsorát főzni. Haldane boldogan beküldött a kamrába bárkit, aki arra járt; egy emlékezetes alkalommal még Spanyolország miniszterelnökét, Jüan Negrínt is. Dr. Negrín egy kis zsibbadásról számolt be, és „az ajkán különös bársonyosságot" érzett, de egyébként, úgy tűnik, nagyobb károsodás nélkül vészelte át a kamrában töltött időt. Szerencséje volt. Haldane egyszer saját magát is hasonlóan alacsony oxigéntartalmú levegőnek tette ki, és utána hat éven keresztül nem érezte sem az ülepét, sem a gerince alsó szakaszát.

Haldane sajátságos foglalatosságai közé tartozott még a nitrogénmérgezés. Még mindig nem tudjuk pontosan, hogy miért, de a nitrogén 30 méteres mélység alatt erősen befolyásolja a döntőképességet. Előfordult, hogy a túlzott nitrogénbevitel miatt egy búvár a légzőkészülékét felajánlotta egy arra úszó halnak, egy másik pedig úgy látta, elérkezett a cigarettaszünet ideje. A nitrogén szélsőséges kedélyhullámzást is okozhat. Haldane feljegyzései szerint az egyik vizsgált személynél „depresszió és extázis váltogatta egymást, egyik pillanatban könyörgött, hogy eresszék ki, a másikban nevetett, és megpróbálta megzavarni kollégája vizsgálatát". A vizsgált személy állapotának romlását úgy mérték, hogy egy tudós is vele tartott a kamrába, hogy egyszerű matematikai kérdéseket tegyen fel neki. Néhány perc múlva azonban „a vizsgáztató éppen olyan mámoros volt, mint a vizsgázó, gyakran elfelejtette lenyomni a stoppert, vagy feljegyzéseket készíteni a történtekről". Az említett megmámorosodás oka még ma sem tisztázott. Lehet, hogy hasonló az alkohol okozta részegséghez, de mivel azt sem tudjuk, hogy azt mi okozza, ettől nem leszünk okosabbak. Mindenesetre tudnunk kell, hogy könnyen bajba kerülhetünk, ha elhagyjuk a felszínt. És ezzel (majdnem) visszatértünk eredeti megjegyzésünkhöz, hogy a Föld nem túl kedvező hely egy élőlény számára, még ha ez az egyetlen hely is. A bolygó felszínének szárazföldi részéből meglepően sok az olyan hely, ami túl meleg, hideg, száraz, meredek vagy magas fekvésű számunkra. És ez, be kell ismernünk, részben a mi hibánk. Az ember tűréshatárai meglehetősen kis eltéréseket engednek csak meg. A legtöbb állathoz hasonlóan nem szeretjük a nagy forróságot, de mivel náluk jobban izzadunk, és hajlamosabbak vagyunk a hőgutára, különlegesen sérülékenyek vagyunk. A legrosszabb körülmények között – például gyalog, víz nélkül a sivatagban – a legtöbb ember hét-nyolc órán belül delirál és összeesik, és lehet, hogy fel sem kel újra. A hideget sem tűrjük

jobban. Az emlősökhöz hasonlóan az ember is hőt termel, de mivel szinte szőrtelenek vagyunk, nem tudjuk tartani. A felhasznált energia fele még kevésbé hideg időben is hőtermelésre megy el. Persze ezt a hiányosságunkat pótolhatjuk megfelelő ruhával és hajlékkal, de az összes szárazföldnek még így is mindössze 12%-án szeretünk vagy tudunk élni, és ez a Föld teljes felszínének csak 4%-a.

Ha viszont a földi körülményeket az ismert világegyetem más helyeihez hasonlítjuk, kiderül, hogy nem az a csoda, hogy bolygónknak csak ilyen kis részét használjuk, hanem az, hogy egyáltalán találtunk egy valamennyire használható bolygót. Nézzünk csak körül a Naprendszerben, vagy akár az évmilliókkal ezelőtti Földön, és látni fogjuk, hogy a legtöbb hely kíméletlenebb és kevésbé használható, mint szelíd, kék, vizes bolygónk.

Az űrkutatók eddig a világegyetem körülbelül tízmilliárd trillió bolygója közül hetvenötöt találtak meg a saját Naprendszerünkön kívül. Tehát nincsen sok tapasztalatunk, de akkor is úgy tűnik, hogy ha egy élet kialakulására alkalmas bolygóra van szükségünk, nagy szerencse, ha találunk ilyet, és minél fejlettebb az adott életforma, annál több szerencsére van szükségünk. A témával foglalkozók körülbelül kéttucat körülményt sorolnak fel, amelyek elengedhetetlenek az élethez, de itt most csak a legfontosabb négyet említjük.

Kiváló elhelyezkedés. Szinte hihetetlen, hogy pont eltaláltuk a megfelelő távolságot a megfelelő típusú csillagtól, tehát egy olyantól, ami elég nagy ahhoz, hogy sok energiát bocsásson ki, de nem olyan nagy, hogy gyorsan kiégjen. Fizikai furcsaság, hogy minél nagyobb egy csillag, annál gyorsabban ég. Ha a Napunk tízszer ekkora tömegű lenne, a jelenleg becsült tízmilliárd helyett tízmillió év alatt kialudt volna, és sehol sem lennénk. A keringési pályánkat is jól választottuk meg. Ha közelebb haladnánk a Naphoz, a Földön minden elégne. Ha távolabb, megfagynánk.

1978-ban Michael Hart asztrofizikus kiszámította, hogy a Föld lakhatatlan lenne, ha 1%-kal távolabb vagy 5%-kal közelebb lenne a Naphoz. Ez bizony nem sok, és később finomítottak is a számításokon: most úgy gondoljuk, hogy 5%-kal lehetnénk közelebb, illetve 15%-kal távolabb, hogy a bolygó lakható maradjon, de ez még mindig igen keskeny zóna.[53]

Hogy milyen keskeny, arról képet kapunk, ha felnézünk a Vénuszra, ami nálunk csak 40 millió kilométerrel van közelebb a Naphoz. A Nap melege két perccel hamarabb éri el a Vénuszt, mint a Földet. A két bolygó mérete és összetétele hasonló, de a végkifejlet szempontjából döntő, hogy a pályájuk különböző távolságra van a Naptól. Valószínű, hogy a Naprendszer korábbi állapotában a Vénusz csak kicsit volt melegebb a Földnél, és óceánjai is voltak. De a néhány fok különbség miatt a Vénusz nem tudta megtartani felszíni vizeit, és ennek katasztrofális következményei voltak az éghajlatra. A víz párolgott, a benne lévő hidrogénatomok kiszöktek az űrbe, az oxigénatomok pedig szénnel egyesültek, és így alakult ki a sűrű, üvegházhatást okozó gázból, a szén-dioxidból álló légkör. A Vénusz felforrósodott. Bár a korombeliek emlékezhetnek, hogy a csillagászok egy időben még remélték, hogy a Vénusz vastag felhői alatt élet lehet, sőt akár valamiféle trópusi táj, ma már tudjuk, hogy a környezet nem felel meg semmiféle élet kialakulásához, amit el tudnánk képzelni. A felszín hőmérséklete 470 °C, tehát már az ólom is elolvad, a légköri nyomás pedig a földinek 90-szerese, ami elviselhetetlen az emberi test számára. Nem tudunk olyan űrruhát gyártani, amelyben meglátogathatnánk a Vénuszt. A felszínéről távoli radarmegfigyelésekből van tudomásunk, és egy embert nem szállító szovjet szonda riadt vijjogásából. Az utóbbit 1972-ben küldték a felhők közé, és összesen egy órát működött, mielőtt véglegesen leállt.

Szóval ez lesz, ha két fényperccel közelebb merészkedünk a Naphoz. Ha pedig túlságosan eltávolo-

dunk tőle, a gondot nem a hő, hanem a hideg okozza, mint a fagyos Mars esetében. Régebben az is barátságosabb hely volt, de nem tudott állandó légkört fenntartani, ezért fagyos sivatag lett belőle.

De a Naptól való helyes távolság önmagában nem elég, hiszen akkor a Holdon is erdők zöldellnének, márpedig tudjuk, hogy ez nem így van. Ehhez a következő feltételre van szükség:

Megfelelő bolygótípus. Nem hiszem, hogy amikor el kell sorolni, mi minden jó van az életükben, akár a geofizikusok is megemlítenék az olvadt belsejű bolygót, pedig majdnem teljesen biztos, hogy az alattunk áramló magma nélkül sem lennénk itt. Sok más mellett a Föld mozgalmas belseje miatt szabadultak ki belőle a légkört felépítő gázok, és ezért lehet a Földnek mágneses tere, ami megvéd minket a kozmikus sugaraktól. Emiatt alakult ki a lemeztektonika is, ami folyamatosan megújítja és változatossá teszi a felszínt. Ha a Föld tökéletesen sima lenne, akkor 4 kilométer vastagon víz lepné. Ebben a magányos óceánban élet persze lehetne, de futball biztosan nem.

A bolygónkban a megfelelő belső mellett pontosan jó arányban fordulnak elő a vegyi elemek. Pont jó anyagból gyúrtak minket. Ez annyira fontos, hogy egy perc múlva visszatérünk rá, de előbb röviden felsoroljuk a maradék két tényezőt, elsőként azt, amiről olyan gyakran elfeledkezünk:

Egy ikerbolygópár egyik tagja vagyunk. Bár a Holdra általában nem társbolygóként gondolunk, kísérőnk mégis az. A legtöbb hold a bolygójához képest elenyésző méretű. A Mars Phobos és Deimos nevű holdjai például csak 10 kilométer átmérőjűek. A Hold átmérője viszont nagyobb a Föld negyedénél, tehát a Naprendszerben egyedül csak nekünk van a bolygóval összemérhető méretű holdunk (és még a Plútónak, ami azért nem számít, mert a Plútó maga is nagyon kicsi) – és ez bizony nagyon lényeges.

A Hold kiegyenlítő hatása nélkül a Föld lejáró búgócsigaként imbolyogna, és ki tudja, ez milyen hatással lenne az éghajlatra. A Hold állandó tömegvonzásának köszönhető, hogy a Föld a megfelelő szögben és sebességgel forog tengelye körül; ez az állandóság pedig kell az élet kifejlődéséhez. De ez az állapot nem tart örökké. A Hold évente 4 centiméterrel távolodik tőlünk. Kétmilliárd év múlva már olyan távol lesz, hogy nem egyensúlyozza ki a Földet, és akkor majd megoldást kell találni az új helyzetre. Addig még van ugyan egy kis időnk, de szépen kérem a kedves olvasót, tartsa többre a Holdat a romantikus éjszakák mellőzhető kísérőjénél.

A csillagászok sokáig úgy gondolták, hogy a Föld és a Hold vagy együtt alakultak ki, vagy a Föld egyszer csak befogta a közelben haladó Holdat. Mai ismereteink szerint (erről már volt szó egy korábbi fejezetben) körülbelül 4,4 milliárd éve egy Mars méretű égitest csapódott a Földbe, és az akkor keletkezett törmelékből állt össze a Hold. Ez így pont jó nekünk, és szerencse, hogy olyan régen történt; ha például 1896-ban csapódik be, vagy a múlt szerdán, most nem nagyon örülnénk.

És itt következik a negyedik, de sok szempontból legfontosabb körülmény:

Az időzítés. A világegyetem egy bámulatosan szeszélyes és eseménydús hely, puszta létezésünk pedig egy csoda. Ha az események hosszú (4,6 milliárd éves) és elképzelhetetlenül bonyolult láncolata nem éppen így, ilyen sorrendben és időpontokban játszódik le – egy nyilvánvaló példával élve: ha a dinoszauruszokat nem törli el a Föld színéről a meteor a megfelelő pillanatban – lehet, hogy az olvasó most csak egy néhány centiméteres, bajuszt és farkat viselő lény, és a könyvemet egy föld alatti vacokban olvassa.

Saját létezésünket nem tudjuk mihez hasonlítani, ezért nem lehetünk biztosak benne, mégis nyilván-

valónak látszik, hogy a fejlett, gondolkodó társadalom kialakulásához egy nagyon hosszú láncolat megfelelő végén kell lennünk, amely olyan következményekből áll, amelyben megfelelő hosszúságú állandóság váltakozik éppen jó mennyiségű megoldandó problémával (a jégkorszak ilyen szempontból nagyon hasznos volt), és nincsen egyetlen globális katasztrófa sem. A könyv később következő lapjain majd látni fogjuk, nagy szerencsénk van, hogy ide eljutottunk.

A Földön 92 elem fordul elő természetes körülmények között, és további körülbelül húszat elő lehet állítani laboratóriumban, de az utóbbiak egy részével nem is kell foglalkoznunk – a vegyészek sem szoktak. A földi elemek között nem kevés van, amelyről szinte semmit nem tudunk. Az asztáciumot például gyakorlatilag még senki nem tanulmányozta. Megvan a neve és a helye a periódusos rendszerben (Marie Curie poló-niumának szomszédságában), de ennél sokkal többet nem tudunk róla. Itt nem tudományos közönyről van szó, hanem az elem ritka előfordulásáról. Elég nehéz ugyanis asztáciumot találni. De a legmegfoghatatlanabb elem mindenképpen a francium, ami olyan ritka, hogy az egész bolygón összesen legfeljebb húsz atom van belőle[54] minden pillanatban. Mindent összevéve csak körülbelül harminc, természetben előforduló elemből van nagyobb mennyiség a Földön, az élet szempontjából pedig, talán ha fél tucatnak van fontos szerepe.

Gondolom, az olvasó is kitalálta már, hogy ezek egyike az oxigén, a leggyakrabban előforduló elemünk; ebből áll a földkéreg mintegy 50%-a. A többi elem gyakorisága viszont több meglepetést rejteget. Ki gondolná például, hogy a szilícium a második leggyakoribb elem, a tizedik pedig a titán? Nincsen kapcsolat egy elem gyakorisága és aközött, hogy mennyire fontos az élőlények felépítéséhez. Az ismeretlenebb elemekből általában több van, mint a jobban ismertekből. A Földön több cérium van, mint réz, és több neodímium vagy lantán, mint kobalt vagy nitrogén. Az ón alig került be a leggyakoribb ötvenbe, és olyan viszonylag ismeretlen anyagok előzik meg, mint a prazeodímium, a szamárium és a diszprózium.

A gyakoriságnak még ahhoz sincsen köze, hogy az adott elemet mennyire könnyű megtalálni. A Föld negyedik leggyakoribb eleme az alumínium; a lábunk alatti anyagoknak körülbelül az egytizedét teszi ki, mégsem ismerték a XIX. századig, amikor Humphry Davy végre felfedezte, és még hosszú ideig azt hitték róla, hogy ritka és értékes. Az Egyesült Államok kongresszusa majdnem megszavazta, hogy alufóliával borítsák a Washington emlékművet, hadd lássa mindenki, milyen előkelő és jómódú az amerikai nép; a francia királyi család ugyanekkor leselejtezte az ünnepélyes alkalmakon használt vacsorai ezüstszervizt, és helyette alumíniumeszközöket készíttetett. Így megfeleltek a kor divatjának, csak éppen a késekkel nem lehetett vágni.

A gyakoriság a fontossággal sincsen egyenes arányban. A szén csak a tizenötödik leggyakoribb elem, és a földkéregnek is csak a 0,048%-a, az élethez azonban elengedhetetlenül szükséges. A szénatom azért különleges, mert szégyentelenül összeáll szinte bármelyik elemmel. Ő az atomok világának aranyifjúja, amely rengetegféle társával (sőt, saját magával is) kapcsolatot létesít. Szoros kötést és egészségesen robusztus molekulaláncokat alakít ki – és éppen ez kell a fehérjék és a DNS felépítéséhez. Paul Davies szerint: „Ha nem lenne szén, az általunk ismert – sőt bármilyen – élet lehetetlen lenne.” Pedig nincs is olyan sok szén bennünk. Testünk minden 200 atomjából 126 hidrogén, 51 oxigén és csak 19 szén.[55]

A többi elem nem az élet létrehozásához elengedhetetlen, hanem a fenntartásához. A hemoglobinhoz vasra van szükségünk. A kobalt a Bn vitaminhoz kell. A kálium és egy kis nátrium jót tesz az idegeinknek. A molibdén, a magnézium és a vanádium elengedhetetlen enzimeink működéséhez. A cink – sze-

rencsére – elégeti az alkoholt.

Az ember fejlődéstörténete során megtanulta felhasználni, vagy legalábbis elviselni ezeket az anyagokat – máskülönben nem lennénk itt – de ebben az értelemben is nagyon szűk tűréshatárok között működünk. A szelén létfontosságú, de ha egy kicsit többet veszünk magunkhoz a kelleténél, más anyagra soha többé nem lesz szükségünk. Abból, hogy melyik élőlény mennyire igényli vagy tűri az egyes elemeket, következtethetünk annak fejlődéstörténetére. A birkák és a tehenek békésen legelnek egymás mellett, de egészen különböző ásványi anyagokra van szükségük. A ma élő szarvasmarháknak sok réz kell, mert Európa és Afrika olyan részeiről származnak, ahol bőségesen volt réz. A juhok viszont Kis-Ázsia rézben szegény területeiről terjedtek el. A fentiek után nem meglepő, hogy az elemeket éppen olyan arányban tűri el a szervezet, ahogyan azok a földkéreg adott részén előfordulnak. Úgy fejlődtünk ki, hogy számítunk a ritka elemek kis adagjaira, sőt néha nagy szükségünk is van rájuk, és ezeket az általunk fogyasztott állati és növényi szövetek biztosítják számunkra. De ha a kelleténél (néha csak egy kicsivel) többet veszünk magunkhoz valamelyikből, hamarosan átlépünk egy küszöböt. Ennek a mechanizmusáról még nem sokat tudunk. Például senki nem tudja, hogy szervezetünknek szüksége van-e egy pirinyó adag arzénre. Van, aki állítja, hogy igen, és van, aki tagadja. Azt viszont mind tudjuk, hogy egy nagyobb adagtól meghalnánk.

Az elemek még furcsább tulajdonságokat mutatnak, amikor egyesülnek. Az oxigén és a hidrogén a két legéghetőbb elem, de a kettőből együtt víz lesz, amit nehéz felgyújtani.[56] Még különösebb a nátrium és a klór, az egyik leginstabilabb és az egyik legmérgezőbb elem házassága. Ha egy kis tiszta nátriumot közönséges vízbe teszünk, az gyilkos erővel felrobban. A klór mérgező hatása ennél is hírhedtebb. Bár kis adagokban használható a mikroorganizmusok elpusztítására (ezért van a fehérítőnek klórszaga), nagyobb mennyiségben halálos. A klór volt a legalkalmasabb elem az első világháború mérgező harci gázaihoz. És – ezzel, gondolom, egyetért minden kipirosodott szemű úszó – az emberi test még nagy hígításban is rosszul viseli el. Ha viszont összerakjuk ezt a két veszélyes elemet, nátrium-kloridot kapunk, vagyis közönséges konyhasót.

Mindent összevéve, ha egy elem magától nem szokott a szervezetünkbe kerülni – például mert nem oldható vízben –, akkor azt általában rosszul tűrjük. Az ólom azért mérgező, mert nem voltunk kitéve neki egészen addig, amíg nem kezdtek el konzervdobozt és vízvezetéket gyártani belőle. (Nem véletlen, hogy az ólom latin nevéből, a plumbum-ból származik a vízvezeték szó angol megfelelője, a plumbing). A rómaiak ólommal ízesítették a bort; lehet, hogy ez vetett véget világuralmuknak? Máshol már láttuk, hogy hogyan bántunk az ólommal (és a higannyal, kadmiummal és a többi ipari szennyezést okozó anyaggal, amelyekkel rendszeresen túlterheljük szervezetünket); bizony nincsen okunk az önelégültségre. Ha egy elem természetes környezetben nem fordul elő a Földön, az élőlények nem viselik azt el, sőt mérgező számukra. Ilyen elem például a plutónium, amellyel kapcsolatban csak zéró toleranciát alkalmazhatunk: ennek akármilyen kis adagjától megbetegszünk.

Nagy kört tettünk meg az olvasóval, hogy valamit bebizonyítsak. Annak oka, hogy a Föld ilyen csodálatosan alkalmas az emberi életre, az, hogy úgy alakultunk ki, hogy alkalmas legyen. Amin csodálkozhatnánk, az nem az életre való alkalmassága, hanem a mi életünkre való – de ezen sem kell meglepődnünk. Lehet, hogy a sok tényező, ami nekünk pontosan megfelel – a jó arányú Nap, a ragaszkodó Hold, a barátságos szén, több olvadt magma, mint amennyit el tudnánk képzelni, és a többi – csak azért tűnik ilyen nagyszerűnek, mert úgy születtünk, hogy ezekre számítunk.

Lehet, hogy más világban olyan lények élnek, akik boldogok, hogy ezüstösen csillogó higanytavak és az égen lebegő ammóniafelhők között élhetnek. Örülnek, mert nem szédülnek el a mozgó kőzetle-

mezektől, nem ömlik forró láva a felszínre, ami állandóan nyugalomban van. A Földre esetleg ellátogató idegenek valószínűleg csodálkoznának, hogyan élhetünk olyan légkörben, ami főleg nitrogénből áll, egy olyan gázból, amiről köztudott, hogy nem szívesen egyesül más elemekkel, és oxigénből, ami pedig olyannyira elősegíti az égést, hogy minden városunkat fel kell szerelnünk tűzoltóállomásokkal, hogy védekezzünk az általa okozott balesetek ellen. De még ha látogatóink oxigént lélegző, két lábon járó lények lennének is, akik szeretnek a hétvégén plázákba látogatni és akciófilmeket nézni, nem valószínű, hogy a Földet ideálisnak találnák. Még csak meg sem hívhatnánk őket ebédre, mert élelmünk nyomokban mangán-dioxidot, szelént, cinket és más elemeket tartalmaz, amelyek között biztosan akad számukra mérgező is. Nekik a Föld nem tűnhet valami csodálatosan barátságos helynek.

Richard Feynman fizikus ki szokta gúnyolni az a posteriori következtetéseket (amikor az ismert tényből próbáljuk kitalálni az előzményt). Kedvenc vicce így hangzik: „Tudod, milyen furcsa dolog történt velem ma este? Láttam egy autót, aminek a rendszáma AWR 357 volt. El tudod képzelni? Vajon mekkora esélyem volt, hogy az állam több millió rendszámából éppen ezt látom meg ma este? Elképesztő!” Ezzel azt akarja kifejezni, hogy bármilyen köznapi helyzetet rendkívülinek tüntethetünk fel, ha eléggé sorsszerűnek állítjuk be.

Lehetséges tehát, hogy a Földön az élet kialakulásához nem is olyan különleges események és feltételek vezettek. Azért persze elég rendkívülinek kellett lenniük, és egy biztos: ezek között kell élnünk, amíg valami jobbat nem találunk.

17.
FEL A FELHŐÖVBE!

Nagy szerencsénk, hogy a Földnek van légköre. Ez nem engedi, hogy kihűljünk. Nélküle a Föld – 50 °C átlaghőmérsékletű, élettelen jéggolyó lenne. Ráadásul a légkör elnyeli vagy eltéríti a kozmikus sugárzás, a töltéssel rendelkező részecskék, az ultraibolya sugarak és más nem kívánatos látogatók nagy részét. A légkör védő hatása – bár gázokból áll – megfelel egy 4,5 méter vastag betonrétegének, és nélküle a láthatatlan kozmikus részecskék apró dárdákként hatolnának át rajtunk. Ha a légkör nem lassítaná le az esésüket, még az esőcseppek is úgy kólintanának fejbe minket, mintha megköveznének.

Légkörünkkel kapcsolatban az a legkülönösebb tény, hogy nincsen valami sok belőle. Fölfelé körülbelül 190 kilométer távolságig tart, ami a Földről nézve nagynak tűnhet, de ha asztali földgömbbel akarjuk modellezni, körülbelül egy-két lakkrétegnyit tenne ki.

A könnyebb tudományos tanulmányozás érdekében a légkört négy különböző vastagságú rétegre osztották: troposzféra (felhőöv), sztratoszféra, mezoszféra (középső légkör) és ionoszféra (ma gyakran hívják termoszférának vagy Heaviside-rétegnek is). A troposzférát szeretjük a legjobban. Csak ebben van elegendő hő és oxigén a fennmaradásunkhoz, bár a túlélés gyorsan nehezedik, amikor felfelé tartunk benne. A troposzféra a felszíntől a legmagasabb pontjáig körülbelül 16 kilométer magas az Egyenlítőnél, de csak 10-11 kilométeres a mérsékelt éghajlatú vidékek fölött. Ez a sáv adja a légkör tömegének 80%-át, és itt van majdnem az összes víz, tehát gyakorlatilag az egész időjárás ebben a vékony rétegben zajlik. Ennyi áll az olvasó és a megsemmisülés között.

A troposzféra után a sztratoszféra következik. Amikor egy viharfelhő teteje klasszikus üllő alakúvá lapul, akkor a két réteg közötti határt látjuk. Ezt a láthatatlan mennyezetet tropopauzának hívják. 1902-ben fedezte fel egy hőlégballonon utazó francia, Léon-Philippe Teisserenc de Bort. Ebben az értelemben a pauza nem pillanatnyi megállást, hanem teljes megszűnést jelent; ugyanarról a görög szótőről van szó, ami a menopauza szóban is szerepel. A tropopauza még az Egyenlítőnél is nagyon közel van hozzánk. Ha egy olyan gyorslifttel mennék fel, amilyet mostanában a felhőkarcolókba szerelnek, az út (bár nem javasoljuk, hogy megtegye), nem tartana tovább húsz percnél. Az ilyen gyors emelkedés, ha közben a nyomást nem egyenlítik ki, legalábbis súlyos agy- és tüdőödémát okozna, vagyis a test egyes szöveteiben túl sok folyadék halmozódna fel. Amikor felértünk, nem sokan lennének életben közülünk. De még a lassabb emelkedés is kellemetlenségekkel járna. Tíz kilométerrel feljebb a hőmérséklet körülbelül – 57 °C, és nagy szükségünk lenne oxigénpalackra.

A troposzféra elhagyása után a hőmérséklet ismét emelkedik, bár csak 4 fokkal – ezt az ózonnak köszönhetjük (amit szintén Bort fedezett fel bátor, 1902-es felszállásakor). Az itt következő mezoszférában – 90 °C-ra csökken, utána viszont, a találóan elnevezett, de nagyon egyenetlen termoszférában hirtelen felszökik legalább 1500 °C-ra. A nappali-éjszakai hőmérséklet-különbség itt akár 500 fok is lehet, bár ebben a magasságban hőmérsékletről csak elvi szinten beszélhetünk. A hőmérséklet ugyanis a molekulák mozgékonyságát méri. Tengerszinten a levegő molekulái olyan sűrűn helyezkednek el, hogy csak kicsit mozdulhatnak – a centiméter nyolcmilliomodát –, mielőtt összeütköznének egy másikkal. Mivel az összes molekula állandóan ütközik, jelentős hőközlés történik. A termoszféra tetején, 80 kilométernél magasabban viszont olyan ritka a levegő, hogy bármelyik két molekula között több kilométer a távolság, ezért azok gyakorlatilag soha nem ütköznek. Tehát, bár az egyes molekulák forrók,

nincs köztük sok kölcsönhatás, így a hőátadás elenyésző. Ez jó hír a műholdak és az űrhajók szempontjából, mert ha több hőkölcsönhatás történne, a Föld körül keringő mesterséges tárgyak kigyulladnának.

Az űrhajóknak még így is vigyázniuk kell a külső légkörben, különösen, amikor visszatérnek a Földre, ahogyan ezt a Columbia űrrepülőgép tragédiájakor láthattuk 2003 februárjában. Bár a légkör ritka, ha egy űrhajó túl meredek szögben (6°-nál nagyobban) vagy túl gyorsan érkezik, elég molekulával ütközik, hogy nagyon gyúlékony közeg keletkezzen. Ha viszont túl lapos szögben lép a termoszférába, visszapattanhat az űrbe, mint a vízen kacsáztatott kavics.

De nem is kell a légkör széléig elmennünk, hogy lássuk, milyen reménytelenül földhözragadt teremtések vagyunk. Bárki, aki járt már magasabban fekvő helyen, tudja, hogy nem kell sok száz méterrel eltávolodnunk a tengerszinttől, hogy testünk tiltakozni kezdjen. Még a tapasztalt hegymászók is – akik pedig edzésben vannak, alaposan felkészültek és oxigénpalackot hordanak magukkal – a magasban könnyen megszédülnek, hányingerük lesz, idő előtt kifáradnak, fagyások keletkezhetnek rajtuk, kihűlhetnek, migrént kaphatnak, elveszítik étvágyukat, és még más működési zavarok léphetnek fel. Az emberi test százféleképpen figyelmezteti a gazdáját, hogy nem ilyen magasan a tengerszint felettre tervezték.

Peter Habeler így ír a Mount Everestről: „Azon a magasságon még a legkedvezőbb körülmények között is nagy akaraterőt igényel minden lépés megtétele. Minden mozdulat, minden kapaszkodás egy újabb erőpróba. Folyamatosan fenyeget az ólmos, halálos fáradtság.” Matt Dickinson angol hegymászó és filmes *The Other Side of Everest (A Mount Everest másik arca)* című könyvében leírja, hogy egy 1924-es expedíció során Howard Somerwell hogyan „kezdett el fuldokolni, miután egy darab fertőzött hús leszakadt és elzárta légcsövét”. Somerwell emberfeletti erőfeszítéssel felköhögte az akadályt. Kiderült, hogy az „gégefőjének teljes nyálkahártyája volt”.

A testi megpróbáltatások általában 7500 méternél jelentkeznek – a hegymászók ezt hívják halálzónának –, de sokan már 4 500 méteres magasságban is súlyosan elgyöngülnek, sőt akár meg is betegszenek. Az erre való hajlam nem feltétlenül arányos az ember edzettségével. Néha nagymamák vidáman szökdécselnek a nagy magasságban, erős, egészséges unokáik pedig kétségbeesetten nyögdécselnek, amíg lejjebb nem viszik őket.

Folyamatosan élni legfeljebb 5500 méteres magasságban lehet, de még ott sem sokáig. Frances Ashcroft *Life at the Extremes* című könyvében megjegyzi, hogy az 5800 méter magasan fekvő andoki kénbányák munkásai esténként inkább 460 méterrel lejjebb ereszkednek, és reggelenként újra felmásznak, mint hogy folyamatosan a nagy magasságban kelljen tartózkodniuk. A magasan fekvő helyeken élő népeknek az évezredek során másoknál nagyobb mellkasuk és tüdejük fejlődött ki, oxigénszállító vörösvértesteik száma pedig akár egyharmadával is több lehet, bár a vér vörösvértest-tartalma nem növekedhet korlátlanul, mert akkor egy idő után túl sűrű lenne. 5500 méter felett pedig még a magassághoz egyébként már hozzászokott nők sem tudják végig kihordani magzatukat, mert nem tudják őket elég oxigénnel ellátni.

Az 1780-as években, amikor az európaiak az első hőlégballon-repülésekkel kísérleteztek, meglepődtek, hogy az emelkedés során milyen gyorsan hűl le a levegő (1000 méterenként 1,6 fokkal). A logika azt diktálta volna, hogy egyre melegebb legyen, amint közelednek a hőforráshoz. A jelenség egyik oka az, hogy tulajdonképpen nem is kerülünk közelebb a Naphoz. A Nap 150 millió kilométerre van. Ha pár száz méterrel feljebb megyünk, olyan, mintha Ohióban egy lépést tennénk Ausztrália felé, és azt várnánk, hogy egyszer csak megérezzük az ottani bozóttűz füstjét. Ha meg akarjuk érteni, miért lesz

egyre hidegebb, amikor felfelé haladunk, gondoljunk ismét a légkör molekuláinak sűrűbb, illetve ritkább elrendeződésére. A napfénytől az atomok energiát kapnak. Ettől gyorsabban mozognak és ütköznek, és az ütközésekkor hőt bocsátanak ki. Amikor nyáron a napon sütkérezünk, tulajdonképpen az izgága atomokat érezzük. Minél magasabbra mászunk, annál kevesebb molekula van, tehát annál kevesebb ütközés. A levegő megtévesztően tud viselkedni. Még tengerszinten is hajlamosak vagyunk a levegőt lenge, szinte súlytalan anyagnak tekinteni. Pedig rendes tömege van, és ezt tapasztaljuk is. Wyville Thomson oceanográfus ezt írta le több mint száz éve: „Néha, amikor reggel felkelünk, és látjuk, hogy a barométer két-három centimétert emelkedett, eszünkbe juthatna, hogy az éjszaka folyamán majdnem féltonnányi anyagot rakodtak ránk, de ettől nincsen semmiféle kellemetlen érzésünk. Sőt, inkább jókedvünk van, és fürgébbek leszünk, hiszen a sűrűbb közegben könnyebb mozogni.” Hogy miért nem roppanunk össze a plusz fél tonna terhelés alatt? Ugyanazért, amiért a tenger alatt sem: testünk fő alkotóelemei összenyomhatatlan folyadékok, amelyek kiegyenlítik a belső nyomást a külsővel.

Ha a levegő mozgásba lendül, legyen az hurrikán vagy csak egy kis szellő, hamar eszünkbe jut, hogy bizony van tömege. Összesen 5 200 millió millió tonna levegő vesz körül minket – négyzetméterenként 10 tonna – ez bizony nem kevés. Amikor az ember mellett több millió tonna légtömeg halad el óránként 50 vagy 60 kilométeres sebességgel, nem csoda, hogy letörnek a faágak és repülnek a tetőcserepek. Anthony Smith megjegyzése szerint egy átlagos időjárási front esetében 750 millió tonna hideg levegő szorul be több milliárd tonna melegebb levegő alá. Nem csoda, hogy ebből néha izgalmas helyzetek adódnak.

Rengeteg energia van a fejünk fölötti világban. Kiszámították, hogy egyetlen zivatarban annyi energia koncentrálódik, amennyi négy napig elegendő lenne az egész Egyesült Államok számára. Megfelelő körülmények között a viharfelhők akár 10-15 kilométer magasságba is emelkedhetnek, és több mint 150 km/h sebességű felfelé és lefelé irányuló légáramlások vannak bennük. Ezek gyakran egymás mellett futnak, nem csoda hát, hogy a pilóták nem akarnak keresztülrepülni rajtuk. A belső kavarodásban a felhőben lévő részecskék elektromos töltést kapnak. Nem teljesen tudjuk, hogy miért, de a könnyebb részecskék pozitívak lesznek, és a légáramlatok a felhő tetejére viszik őket, míg a nehezebbek negatív töltést kapnak, és a felhő alján gyűlnek össze. A negatív részecskéket vonzza a pozitív Föld, és jobb, ha nem vagyunk útban, amikor kisülnek. A villámok 435 000 km/h-s sebességgel csapnak le, és a körülöttük lévő levegőt 28 000 °C-ra hevítik fel, ami többszöröse a Nap felszíni hőmérsékletének. A bolygót minden pillanatban 1800 zivatar támadja, naponta körülbelül 40 000. Földünkbe éjjel-nappal másodpercenként körülbelül száz villám csap be. Az égbolt igazán nem unalmas. Amit az odafönn végbemenő folyamatokról tudunk, azt nem régen tudjuk. A futóáramlások általában körülbelül 9000-10 000 méter magasan találhatók, majdnem 300 km/h sebességgel száguldanak, és egész kontinensek időjárását befolyásolják. Létezésükről mégsem tudtunk, amíg a második világháborúban a pilóták beléjük nem botlottak. A légköri jelenségek nagy részéről még ma is csak keveset tudunk. Egy felhőtlen légköri örvénynek nevezett hullámmozgás néha megdobálja a repülőgépeket. Évente körülbelül húsz ilyen naplózandó esemény történik. Ezeknek semmi köze a felhőszerkezethez vagy bármi máshoz, amit szabad szemmel vagy radarral érzékelni lehetne. Ezek egyszerűen nagy légörvények az egyébként nyugodt égen. A jelenség tipikus példája volt, amikor egy Szingapúrból Sydneybe tartó repülőgép jó időjárási viszonyok között repült Ausztrália középső része felett, majd hirtelen 90 métert zuhant, ami elég volt hozzá, hogy a biztonsági övet nem használó utasokat a jármű mennyezetéhez csapja. Tizenketten megsérültek, egyvalaki súlyosan. Senki nem tudja, mi okozza ezeket a zavaró légzsákokat.

A légkörben a levegőt ugyanaz a folyamat mozgatja, ami a bolygó belsejében is végbemegy: a hőáramlás. Az egyenlítői vidékek nedves, meleg levegője felemelkedik a tropopauzáig és ott kiterebélyesedik. Távolodik az Egyenlítőtől, hűlni kezd, és ezért lesüllyed. A lehűlő levegő egy része alacsonyabb nyomású területeket tölt ki, és visszaáramlik az Egyenlítő felé. Az Egyenlítőnél a hőáramlás meglehetősen egyenletes, az időjárás pedig nagy pontossággal előre jelezhető, de a mérsékelt égöv időjárása nagyban függ az évszaktól és az adott hely földrajzi tulajdonságaitól, ráadásul még ezen belül is eléggé véletlenszerű. Végtelen csaták folynak a nagy és az alacsony nyomású levegő között. Az alacsony nyomású rendszereket a felszálló légáramlatok hozzák létre, amelyek vízmolekulákat szállítanak az égbe; így alakulnak ki a felhők és a csapadék. A meleg levegő több nedvességet bír el, mint a hideg, ezért a trópusi, illetve a nyári viharok a legerősebbek. Tehát az alacsony nyomású területeket általában felhők és csapadék jellemzi, a magas nyomásúakon pedig napsütéses, száraz az idő. Két eltérő nyomású rendszer találkozását gyakran észrevehetjük a felhőkből. Rétegfelhők – más néven sztrátuszok, ezek a kevéssé szeretetre méltó, alaktalanul terpeszkedő szürkeségek, amelyek a borús időt okozzák – például akkor keletkeznek, amikor egyes nedves felszálló légáramlatok nem elég erősek, ahhoz hogy áttörjék a felettük lévő, nyugalmasabb levegőréteget, hanem kiterülnek, mint amikor a füst a mennyezethez ér. Egyébként is jó példa egy dohányzó ember: nézzük csak meg, hogy hogyan emelkedik fel a füst egy mozdulatlan levegőjű szobában. Először egyenesen felfelé tart (a folyamat neve lamináris vagy réteges áramlás), majd diffúz, hullámzó réteget alkot. Ha gondos méréseket végzünk jól meghatározott körülmények között, és az eredményeket betápláljuk a világ legnagyobb szuperszámítógépébe, akkor sem tudjuk meg, hogy milyen alakban fog fodrozódni egyetlen cigaretta füstje, elképzelhetjük hát, hogy a meteorológusok milyen nehézségekkel küzdenek, amikor az ilyen folyamatokat előre kell jelezniük forgó, szeles, hatalmas világunkban.

Annyi biztos, hogy mivel a Napból származó hő egyenetlenül oszlik el, a bolygón különböző légnyomású területek alakulnak ki. A levegő megpróbálja kiegyenlíteni ezt a helyzetet, és ekkor szél keletkezik. A levegő a nagyobb nyomású területekről a kisebb nyomásúak felé fúj (ahogyan azt várnánk; gondoljunk csak bármire, amiben a külső nyomásnál nagyobb légnyomás van – léggömbre, légtartályra, kitört ablakú repülőgépre –, és arra, hogy a nagyobb nyomású levegő hogyan igyekszik kiszabadulni), és minél nagyobb a nyomáskülönbség, annál nagyobb a szél sebessége.

Egyébként a szél energiája, a sebességgel négyzetesen nő, tehát egy óránként 300 kilométeres sebességgel fújó szél nem tízszer olyan erős, mint egy 30 km/h sebességű, hanem százszor, és ezért tesz sokszor akkora kárt. Ha mindez több millió tonna levegővel történik, mértéktelen erők lépnek fel. Egy trópusi hurrikán során huszonnégy óra alatt annyi energia szabadul fel, amennyit egy gazdag, közepes méretű ország, például Anglia vagy Franciaország felhasznál egy év alatt.

Azt, hogy a légkör nyugalomba akar kerülni – mint annyi más jelenség okát –, először Edmond Halley sejtette meg. A gondolatot egy honfitársa, George Hadley dolgozta ki a XVIII. században, aki észrevette, hogy az emelkedő és süllyedő levegőoszlopokban cellák keletkeznek (ezeket azóta is Hadley-celláknak nevezik). Bár Hadleynek ügyvédi végzettsége volt, mindig is érdekelte az időjárás (na persze, elvégre angol volt), és azt is felvetette, hogy a cellák, a Föld forgása és a passzátszelet okozó eltérítő erő között kapcsolat van. A kölcsönhatások részleteit Gustave-Gaspard de Coriolis-nak köszönhetjük, aki a párizsi műszaki egyetem tanáraként 1835-ben alkotta meg elméletét a Coriolis-hatásról. (Az egyetem másért is hálás neki: ő vezette be a hűtött vizű ivó kutakat, amelyeket azóta is coriónak

neveznek.) A Föld az Egyenlítőnél 1675 km/h sebességgel forog, de ha közelebb vagyunk valamelyik sarokhoz, például Londonban vagy Párizsban, a sebesség már csak 900 km/h. Ennek nagyon egyszerű oka van. A forgó Föld Egyenlítőjén 40 000 kilométert kell megtennünk, hogy körbeérjünk, az Északi-sark mellett viszont egy kör csak egy pár méter, viszont mindkét esetben huszonnégy óra alatt jutunk vissza a kiindulópontra. Tehát minél közelebb vagyunk az Egyenlítőhöz, annál gyorsabban forgunk a Földdel együtt.

A Coriolis-hatás annak az elmélete, hogy egy, a levegőben a Föld forgásával párhuzamosan haladó dolog, ha a távolság elég nagy, miért fog egy idő után jobbra kanyarodni az északi féltekén, és balra a délin, miközben a Föld elfordul alatta. A jelenséget jól szemlélteti a körhintahasonlat. Képzeljük el, hogy egy labdát dobunk valakinek, aki a forgó körhinta szélén ül. Mire a labda eléri a körhinta szélét, az továbbmozdult, és a labda mögötte halad el. Az ő szempontjából viszont úgy látszik, mintha a labda elkanyarodott volna. Ez a Coriolis-hatás, ettől kacskaringósak időjárási rendszereink, és ettől pördülnek meg búgócsigaként a hurrikánok. A Coriolis-hatás magyarázza azt is, hogy a tüzérségi lövedékeket miért a célponttól balra vagy jobbra beállított hajóágyúkból lövik ki; egy 25 kilométeres lövés eltérése körülbelül 90 méter, tehát ennyivel a megcélzott ellenség mellett pottyanna ártalmatlanul a vízbe.

Bár az időjárás gyakorlati és pszichológiai szempontból majdnem mindenkinek fontos, a meteorológiáról mint tudományról csak a XVIII. század legvégétől beszélhetünk (bár maga a szó már 1626-tól a köztudatban volt; T. Granger találta ki egy logikakönyvében).

A kezdet nehézségeit részben az okozta, hogy a sikeres időjárás-előrejelzéshez nagyon pontos hőmérsékleti adatokra van szükség, és ehhez meglepően sokáig nem álltak rendelkezésre megfelelő hőmérők. Elkészítésükhöz ugyanis nagyon szabályos belső üreget kellett fúrni egy üvegrúdba, amihez nem állt rendelkezésre a hozzá szükséges technológia. Daniel Gabriel Fahrenheit holland műszerkészítő oldotta meg a problémát, aki 1717-ben pontos hőmérőt készített. Ismeretlen okból egy olyan hőmérsékleti skálát használt, amelyen a víz fagyáspontja 32, forráspontja pedig 212 foknál van. Ezek a furcsa számok sokakat zavartak, és 1742-ben Anders Celsius svéd csillagász másik fokbeosztást javasolt. Bizonyítandó, hogy a feltalálók általában nem alkotnak tökéleteset elsőre, a fagyáspontot száznak, a forráspontot nullának jelölte ki, de rendszerét hamarosan megfordította.

A modern meteorológia atyjának leginkább Luke Howard angol gyógyszerészt nevezhetnénk, aki a XIX. század elején került az érdeklődés középpontjába. Legemlékezetesebb tette, hogy 1803-ban elnevezte a különböző felhőtípusokat. Bár a Linné Társaságnak is tevékeny és megbecsült tagja volt, és Linné elveit alkalmazta az új rendszerben, mégis inkább az excentrikus Askesian Társaság ülésén adta elő új osztályozási rendszerét. (Talán még emlékszünk egy korábbi fejezetből, hogy ez volt az a tudományos társaság, amelynek tagjai belefeledkeztek a dinitrogén-oxid [kéjgáz] élvezetébe; csak remélhetjük, hogy Howard előadását olyan figyelemmel hallgatták, amilyenre az méltó volt. Erről valahogy egyetlen tudománytörténész sem írt...)

Howard három nagy osztályba sorolta a felhőket: a rétegesek a rétegfelhők vagy sztrátuszok, a bolyhosak a gomolyfelhők vagy kumuluszok (ami a halom jelentésű latin szóból származik), és a hidegebb időt jelző magas, vékony foszlányok a pehelyfelhők vagy cirruszok. Később felvett még egy fajtát, az esőfelhőt vagy nimbuszt (az utóbbi latinul felhőt jelent). Howard rendszerében az a szép, hogy az alapelemek összekapcsolásával le lehet írni mindenféle alakú és méretű felhőt. Van például gomo-

lyos rétegfelhő (sztratokumulusz), fátyolfelhő (cirrostratus), gomolyesőfelhő (kumulonimbusz), és így tovább. Az elnevezéseket mindenhol örömmel használták, nem csak Angliában. Goethének annyira tetszett a rendszer, hogy négy verset is írt Howard tiszteletére.

Azóta sokat bővítettek Howard rendszerén, olyannyira, hogy a (nem túl gyakran forgatott) Nemzetközi felhőatlasz csak két kötetben fér el, de érdekes módon szinte minden nem Howard által elnevezett felhőtípus – mammatus, pileus, nebulosis, spissatus, floccus, mediocris és társaik – megmaradt a meteorológusoknak, vagy, mint mondják, egy részüknek, és mások nemigen foglalkoznak velük. Az atlasz első, jóval vékonyabb kiadása 1896-ban a felhőket már tíz alaptípusba sorolta; ezek közül a legkövérebb és párnásabb a kilences, a gomolyesőfelhő (kumulonimbusz).[57] Valószínűleg ezért mondja az angol, hogy „a kilencedik felhőn van", amikor mi inkább „a hetedik mennyországban" járunk.[58]

Bár a néha feltűnő, üllő alakú viharfelhők meglehetősen barátságtalanok, az átlagos felhő ártalmatlan és meglepően jelentéktelen. A több száz méteres, bolyhos nyári gomolyfelhők mindössze 100-150 liter vizet tartalmaznak, ami jó ha egy fürdőkádba elég, ahogy azt James Trefil találóan megjegyezte egyszer. A felhőkben kevés az anyag, és ezt magunk is tapasztalhatjuk, amikor ködbe kerülünk, ami tulajdonképpen nem más, mint egy felhő, amely elfelejtett felszállni. Megint Trefilt idézve, „ha száz métert teszünk meg ködben, kevesebb, mint fél pohár vízzel kerülünk kapcsolatba – ez még a szomjunk oltására sem lenne elég". A felhők tehát nem nagy víztárolók. A Föld édesvízkészletének csak 0,035%-a van az égen, felhők formájában.

A lehulló vízmolekula sorsa sokféle lehet. Ha termőtalajra kerül, vagy felszívják a növények, vagy néhány óra vagy nap alatt ismét elpárolog. Ha viszont lejut a talajvízig, lehet, hogy évekig – ha nagyon mélyre került, évezredekig – nem kerül újra a felszínre. Amikor egy tavat látunk, akkor körülbelül egy évtizede ott lévő molekulákat nézünk. Az óceánokban inkább egy évszázadig maradnak meg a molekulák. Mindenesetre az esőben lévő víz körülbelül 60%-a egy-két nap alatt visszatér a légkörbe. Onnan pedig legkésőbb hét-tíz, Drury szerint tizenkét nap múlva ismét a földre hullik.

A párolgás gyors folyamat – nézzünk csak meg egy pocsolyát nyáron. Még a Földközi-tenger is kiszáradna ezer év alatt, ha nem kapna folyamatos utánpótlást. Ez egyszer meg is történt, kevesebb mint 6 millió éve; a Gibraltári-szoros időleges elzáródása miatt valóban kiszáradt. A tengervíz párolgott, eső formájában más tengerekbe hullott vissza, és ezzel egy kicsit hígította sós vizüket, éppen csak annyira, hogy azokban nagyobb területek fagyjanak be, mint korábban. A nagyobb kiterjedésű jégtakaró jobban visszaverte a Nap hőjét, és a Földön jégkorszak kezdődött. Vagy legalábbis van egy ilyen elmélet is.

Annyi viszont biztosan igaz, hogy a Föld dinamikus életében egy kis változásnak is beláthatatlan következményei lehetnek. Még az is lehet, mint később látni fogjuk, hogy ilyen eseményeknek köszönhetjük létezésünket.

A bolygó felszíni folyamatainak valódi motorjai az óceánok. A meteorológusok egyre inkább egy rendszernek tekintik az óceánokat és a légkört, és ezért itt egy kicsit beszélnünk kell róla. A víz nagyon jól tartja és szállítja a hőt – hatalmas mennyiségekben. A Golf-áramlat mindennap annyi hőt szállít Európába, mint amennyi a világ tízévi széntermelésének elégetésével lenne nyerhető, ezért lehetséges, hogy az angol vagy ír tél olyan enyhe a kanadai vagy az orosz télhez képest. Ugyanakkor a víz lassan melegszik, ezért hidegek a tavak és úszómedencék még a legmelegebb nyári napon is, és ezért érezzük úgy, hogy az évszakok kicsit késnek hivatalos, csillagászati kezdetükhöz képest. A tavasz például márciusban kezdődik az északi féltekén, de legtöbb helyen áprilisig nem látjuk ennek a jelét.

Az óceánok nem homogén víztömegek. Különböznek hőmérsékletükben, sótartalmukban, mélységükben, sűrűségükben és más tulajdonságaikban, és ezért különböző módon szállítják a hőt, ami hatással van az éghajlatra. Az Atlanti-óceán például sósabb a Csendes-óceánnál, és ez jó. Minél sósabb ugyanis a víz, annál nagyobb a sűrűsége, és a nagyobb sűrűségű víz alulra süllyed. Ha az Atlanti-óceán nem lenne sósabb, áramlatai továbbhaladnának az Északi-sark felé, és felmelegítenék, Európa azonban nem kapna a melegből. A Földön a hőátadás fő okozója a termohalin keringés, ami mélyen a felszín alatt haladó lassú áramlásokat okoz. A folyamatot először Rumford grófja, a kalandor tudós észlelte 1797-ben.[59] Amikor a felszíni vizek Európa közelébe érnek, sűrűbbek lesznek, és mélyebbre süllyednek, majd megkezdik lassú visszaútjukat a déli féltekére. Amikor elérik az Antarktiszt, bekerülnek az ottani, sark körüli áramlásba, majd innen a Csendes-óceánba. A folyamat nagyon lassú; akár ezerötszáz évbe is telhet, mire a víz az Atlanti-óceán északi részéről a Csendes-óceán közepére ér, de a megmozgatott víz- és hőmennyiség hatalmas, az éghajlati hatás pedig felbecsülhetetlen.

(Jó kérdés, hogy vajon honnan lehet megtudni, mennyi idő alatt kerül egy vízcsepp az egyik óceánból a másikba. A víznek vannak olyan összetevői, például a fluor-klór-szénhidrogének, amelyek esetében meg lehet mérni, mennyi idő telt el, amióta utoljára levegő érte őket. Ha sok, különböző mélységből és helyről származó eredményt hasonlítanak össze, fel lehet térképezni a víz mozgását.)

A termohalin keringés nemcsak a hőt szállítja, hanem a tápanyagokat is felkeveri az emelkedő és süllyedő áramlatokkal, és ezért az óceán nagyobb része lesz jó élőhely a halaknak és más tengeri lényeknek. Sajnos a keringés nagyon érzékenyen reagál a változásokra. A számítógépes szimulációk azt mutatják, hogy az óceán sótartalmának még kis csökkenése is – ami pedig bekövetkezhet, például a grönlandi jégtakaró egyre nagyobb olvadása miatt – katasztrofálisan megzavarhatná a ciklust.

A tengereknek még egy dolgot köszönhetünk. Hatalmas szénmennyiséget nyelnek el, és azt meg is őrzik. Naprendszerünk egyik furcsa vonása, hogy a Nap ma körülbelül 25%-kal erősebben ég, mint születésekor. Emiatt a Föld sokkal melegebb lehetne. Aubrey Manning brit geológus szerint „Ennek az óriási változásnak katasztrofális hatása kellett volna hogy legyen a Földre, és világunkat, úgy tűnik, mégsem zavarta.”

Tehát mitől marad bolygónk állandó és hűvös? Az élettől. Sok trillió kis tengeri élőlény, amelyről valószínűleg még csak nem is hallottunk: foraminiferák, kokkolitok és mészalgák, felveszik a légkörből a szenet (szén-dioxidot), ami az esővel együtt a tengerbe kerül, és ebből alakítják ki apró vázukat. Mivel a szén ott marad megkötve, nem kerül vissza a légkörbe, ahol üvegházhatást okozna. Végül a kis foraminiferák és kokkolitok és társaik elpusztulnak, a tengerfenékre hullnak, és ott mészkővé préselődnek össze. Különös, hogy az olyan gyönyörű képződmények, mint például Dover fehér sziklái szinte kizárólag apró halott élőlényekből épülnek fel, de még ennél is érdekesebb, hogy mennyi szenet tartalmaznak. Egy 15 centiméter élhosszúságú doveri mészkőkocka több mint ezer liter tömörített szén-dioxidot tartalmaz, ami másként a légkört károsítaná. A Föld kőzeteiben körülbelül húszezerszer annyi szén van, mint a légkörben. Végül a mészkő nagy része vulkánokban fog elégni, a szén visszatér a légkörbe, majd onnan az esővel a földre, ezért nevezik ezt nagy-szénkörforgásnak. A folyamat nagyon hosszú ideig tart – egy átlagos szénatom mintegy félmillió év alatt ér körbe –, de ha nincsenek zavaró tényezők, nagyon jól működik, és az éghajlatot stabil állapotban tartja.

Sajnos az ember előszeretettel, gondatlanul beleavatkozik a ciklusba, mivel túl sok szenet juttat a légkörbe, akár van elég foraminifera annak befogadására, akár nem. A becslések szerint 1850 óta a kelleténél körülbelül 100 milliárd tonnával juttattunk többet a levegőbe, és ezt minden évben még 7 milliárd tonnával tetézzük. Ez összességében nem túl sok; maga a természet – főleg a vulkánkitörések-

kel és a növények pusztulásával – évente körülbelül 200 milliárd tonna szén-dioxidot küld a levegőbe, tehát harmincszor annyit, mint amennyit mi az autóinkkal és gyárainkkal. De nézzük csak meg kicsit távolabbról, milyen homályos aurája van a városainknak, a Grand Canyonnak vagy akár Dover fehér szikláinak, és látni fogjuk, hogy bizony jelentősen megnöveltük a légkör széntartalmát.

A nagyon régi jégminták alapján tudjuk, hogy a légkör „természetes" – tehát ipari tevékenység előtti – szén-dioxid-tartalma körülbelül 280 a millióhoz. 1958-ra, amikor a tudósok méricskélni kezdtek, már 315 volt a millióhoz. Ma az érték 360, és ez évente körülbelül egynegyed százalékkal nő. A XXI. század végére körülbelül 560 lesz.

A Föld óceánjai és erdői (ott is sok szén fér el) eddig megmentették az embert saját magától, de Peter Cox, a Brit Meteorológiai Hivatal munkatársa szerint „van egy küszöb, amelytől kezdve a természetes bioszféra már nem véd meg károsanyag-kibocsátásunk hatásaitól, sőt, felnagyítja azokat". Félő, hogy a Föld melegedése hirtelen fel fog gyorsulni. Sok fa és növény ehhez nem tudna alkalmazkodni, és elpusztulna, ezzel pedig ismét szén szabadulna fel, ami tovább súlyosbítaná a problémát. A távoli múltban már történtek ilyen visszacsatolási folyamatok, pedig akkor még nem is volt ember, aki fokozta volna a gondokat. A jó hír viszont az, hogy a természet még itt is csodálatos. Majdnem biztos, hogy a szénkörforgás végül ismét beállna, és a Földet visszahozná az állandó boldogság állapotába. Amikor ez utoljára megtörtént, csak hatvanezer év kellett a gyógyuláshoz.

18.
A TENGER HULLÁMAI

Képzeljük el, hogy egy olyan világban próbálunk élni, amelynek uralkodó vegyülete a dihidrogén-oxid, egy íztelen és szagtalan anyag, amelynek tulajdonságai annyira változók, hogy esetenként szükségünk van rá, máskor viszont gyors halált okozhat. Halmazállapotától függően leforrázhat minket, vagy fagyási sérüléseink lesznek tőle. Egyes szerves molekulákkal együtt kellemetlen szénsav képződhet belőle, ami lemarja a fák levelét és a szobrok arcát. Ha nagy tömegben van jelen, és valami miatt megmozdul, olyan erővel csap le, aminek nem állhat ellen egyetlen ember alkotta épület sem. Még azok számára is veszélyt rejteget, akik megtanultak együtt élni vele. Ezt az anyagot víznek nevezzük.

A víz mindenütt jelen van. Egy krumpli 80%-a víz, egy tehénnek a 74%-a, egy baktériumnak a 75%-a. Egy paradicsomnak 95%-a víz, ezért akár azt is mondhatjuk, hogy alig van benne más, mint víz. Még az ember is 65% vizet tartalmaz, vagyis a testünkben majdnem kétszer annyi folyadék van, mint szilárd anyag. A víz egy különös anyag. Alaktalan és átlátszó, mégis szeretünk a közelében tartózkodni. Íztelen, és mégis élvezettel isszuk. Hatalmas távolságokat teszünk meg, és kisebb vagyonokat költünk, hogy lássuk a napfényt megcsillanni a felületén. És bár tudjuk, hogy évente több tízezren lelik benne halálukat, alig várjuk, hogy belevessük magunkat.

Mivel a víz mindenütt jelen van, hajlamosak vagyunk arra, hogy elfelejtsük, milyen különleges. Szinte egyik tulajdonsága alapján sem vonhatunk le megbízható következtetéseket más folyadékok tulajdonságairól, és ez fordítva is igaz. Ha nem ismernénk a vizet, és a hozzá kémiailag hasonlító vegyületek (mint a hidrogén-szelenid vagy a hidrogén-szulfid) alapján próbálnánk meghatározni a tulajdonságait, azt hihetnénk, hogy – 93 °C-on forr, szobahőmérsékleten tehát gáz halmazállapotú.

A legtöbb folyadék térfogata kb. 10%-kal csökken, amikor lehűtik. A víz is így kezdi, de azután valami furcsa dolog történik. Amikor már egészen közel jár a fagyásponthoz – természetellenes, idegesítő, teljesen valószínűtlen módon –, tágulni kezd. Mire megfagy, majdnem 10%-kal nagyobb lesz a térfogata! Ez a tágulás a magyarázata annak, hogy a jég miért úszik a víz tetején – ami John Gribbin megfogalmazásában: „teljesen bizarr jelenség”. Ha a víz nem lenne ilyen „önfejű”, a jég elsüllyedne, a tavak és óceánok a pedig fenékig befagynának. A felszínükön nem képződne jégpáncél, ami megakadályozná az alatta lévő víz lehűlését, és az egész víztömeg megfagyna. Még az óceánok is befagynának, és valószínűleg hosszú ideig – esetleg örökre – úgy is maradnának, ez pedig nem éppen ideális környezet az élet fennmaradásához. Szerencsére azonban úgy látszik, hogy a víz nem ismeri a kémiai és fizikai szabályokat.

Mindenki tudja, hogy a víz kémiai képlete H_20, ami azt jelenti, hogy egy nagyobbacska oxigénatomból és a hozzá kapcsolódó két kisebb hidrogénatomból áll. A molekulán belül erős kötés áll fenn, de a hidrogénatomok lazán kapcsolódnak más vízmolekulákhoz is. A vízmolekula egyfajta táncot lejt a többi vízmolekulával, amelynek során rövid időre párba áll egy társával, majd továbbáll, mintha francia négyest táncolnának (ez utóbbi Robert Kunzig találó hasonlata, amiben egy olyan táncra utal, ahol a részvevők állandóan cserélgetik partnerüket). Egy pohár víz talán nem tűnik túlságosan élénknek, de tudnunk kell, hogy minden másodpercben minden molekula több milliárd alkalommal vált partnert. A vízmolekulák ezért tapadnak össze és alkotnak pocsolyákat és tavakat, de a tapadás nem olyan erős,

hogy ne lehetne könnyedén szétválasztani, például amikor fejest ugrunk a vízbe. Minden pillanatban körülbelül 15%-uk áll párban.

Bizonyos értelemben a molekulák kapcsolata nagyon szoros – ezért mozdulhatnak a vízmolekulák a gravitáció ellenében a szivattyúban, és ezért áll mindig össze az esővíz csöppekké az autók tetején. És ezért van a víznek felületi feszültsége. A felszínen lévő molekulákat az alatta és mellette lévő társai erősebben vonzzák, mint a fölötte lévő levegőmolekulák. Emiatt hártya keletkezik, ami elég erős ahhoz, hogy megtartson egyes rovarokat, és visszapattintsa a lapos köveket, amelyekkel a gyerekek kacsáznak. És ezért olyan kellemetlen hasast ugrani a vízbe.

Felesleges mondanom, hogy víz nélkül sehol sem lennénk. Víz hiányában „eltűnik az ajak, mintha egy sebész eltávolította volna, a fogíny megfeketedik, az orr hossza a felére zsugorodik, és a bőr annyira összehúzódik a szem körül, hogy a pislantás lehetetlenné válik", ahogyan egy újságíró fogalmazott. A víz annyira fontos az élet fennmaradásához, hogy hajlamosak vagyunk elfelejteni, hogy Földünk vízkészlete egy apró hányadától eltekintve mérgező – halálosan mérgező – számunkra, mert annyira sós.

A sókra az embernek is szüksége van, de csak nagyon kis mennyiségben, és a tengervíz sokkal – körülbelül hetvenszer – több sót tartalmaz, mint amennyit szervezetünk fel tud dolgozni. Az átlagos sótartalmú tengervízben literenként csak 2,5 teáskanál konyhasó van, de sokkal több más elem, vegyület és egyéb oldott anyag is, ezeket szintén sóknak nevezzük. Ezen sók és ásványok aránya a szöveteinkben hihetetlenül hasonlít a tengervíz összetételére – például tengervizet izzadunk és sírunk (Margulis és Sagan találó megjegyzése) –, ennek ellenére nem tudunk tengervizet magunkhoz venni. Ha az emberi testbe túl sok só kerül, hamar felborul az egyensúly. A sejtekben lévő vízmolekulák önkéntes tűzoltókként a bevitt sóhoz sietnek, hogy feloldják és elszállítsák. A sejtek veszélyesen kiszáradnak, mert működésükhöz vízre lenne szükség. Ilyen értelemben az egész test kiszárad, ami súlyos esetben rohamokhoz, eszméletvesztéshez és agykárosodáshoz vezethet. Közben a túlterhelt vérsejtek a sót a vesékbe szállítják, amelyek túltelítődnek és elzáródnak. Működő vese nélkül pedig az ember meghal. Ezért nem iszunk tengervizet.

A Földön 1,3 milliárd köbkilométer víz van, és ennél soha nem is lesz több. A rendszer zárt, vagyis semmit nem lehet hozzáadni vagy elvenni belőle. Az olvasó által ma megivott víz itt volt már a Föld újszülött korában is. 3,8 milliárd éve az óceánok már körülbelül ugyanakkorák voltak, mint ma.

A víz birodalma, a hidroszféra főleg óceánokból áll. A Föld vizeinek 97%-a tengervíz, ennek a nagyobbik része a Csendes-óceánban van, ami egyedül nagyobb, mint az összes szárazföld együttvéve. A Csendes-óceánban van a tengervíz 51,6%-a, az Atlanti-óceánban 23,6%, az Indiaióceánban pedig 21,2%, tehát az összes többi tengerre csak 3,6% marad. Az óceánok átlagos mélysége 3,86 kilométer; a Csendes-óceán körülbelül 300 méterrel mélyebb a másik kettőnél. A bolygó felszínének 60%-át legalább 1,6 kilométer mély óceán borítja. Philip Ball megjegyzése szerint csoda, hogy bolygónk neve Föld és nem Víz.

A Föld 3%-nyi édesvízkészletének legnagyobb része jég. Csak elenyészően kis része – 0,036%-a – van tavakban, folyókban és víztárolókban, és még kisebb része – 0,001 %-a – felhőkben vagy a levegőben páraként. A bolygó jegének majdnem 90%-a az Antarktiszon van, a maradék nagy része pedig Grönlandon. A Déli-sarkot 3 kilométer vastag jégpáncél fedi, az Északit csak 4,5 méternyi. Az Antarktiszon 27-28 milliárd köbkilométer jég van – ha megolvadna, az óceánok vízszintjét 60 méterrel emelné meg. De ha a légkörben lévő összes víz csapadékként lehullana, mindenütt egyenletesen, az óceánok csak pár centiméterrel mélyülnének.

A tengerszint egyébként teljesen mesterséges fogalom. A tenger ugyanis soha nincsen szintben. A dagályok, szelek, a Coriolis-erő és más hatások miatt különbözik az egyes óceánok vízszintje, de még ugyanabban az óceánban is eltérések vannak. A Csendes-óceán vize körülbelül 46 centiméterrel magasabb a nyugati partján a Föld forgása okozta centrifugális erő miatt. Ezt úgy kell elképzelnünk, mint amikor odébb húznánk egy nagyobb, vízzel teli edényt; a víz az edény másik vége felé torlódik, mintha nem akarna elmozdulni. A Föld keletre fordulása ugyanígy tornyozza fel a vizet a nyugati parton.

Mivel a tengerek mindig roppantul fontosak voltak az embernek, furcsa, hogy milyen sokáig nem érdeklődött irántuk senki tudományos szempontból. A XIX. századig nagyjából annyit tudtak a tengerekről és óceánokról, amennyit azok a partjukra vetettek, vagy amit belőlük halászhálóval kihúztak. Amit pedig írásban is megörökítettek, az inkább anekdotákon és feltevéseken alapult, és nem tapasztalaton. Az 1830-as években Edward Forbes angol természetbúvár megvizsgálta az Atlanti-óceán és a Földközi-tenger fenekét, és kijelentette, hogy 600 méteres mélység alatt nincsen élet. Hihető állítás volt. Odalent nincsen fény, tehát nem lehetnek növények, és tudták, hogy a víz nyomása hatalmas. Így meglepetésként hatott, amikor 1860-ban az egyik első Atlanti-óceán alatti telegráfkábelt karbantartásra felhúzták a több mint 3 kilométeres mélységből, és azt találták, hogy vastagon belepik a korallok, rákok és más élőlényekből származó törmelék.

Az első szervezett tengerkutató expedícióra 1872-ben került sor, amikor a British Museum, a Királyi Társaság és az angol kormány közös vállalkozása elindult Portsmouthból a korábban hadihajóként használt *Challenger*rel. Három és fél éven át járták a világot, vízmintákat gyűjtöttek, halászhálókat vetettek ki, és fenékkaparó hálókat vonszoltak végig az üledékben. Nyilvánvalóan nem lehetett nagy élmény. A 240 főnyi tudósból és legénységből minden negyedik ember megszökött a hajóról, nyolcan pedig meghaltak vagy megőrültek – Samantha Weinberg történész szavaival: „őrületbe kergette őket az évekig tartó kotrás elmetompító monotóniája”. De közben majdnem 70 000 tengeri mérföldet tettek meg, 4 700 új tengeri fajt gyűjtöttek be, valamint elég adatot egy ötvenkötetes jelentéshez (ami tizenkilenc év alatt készült el), és nevet is adtak az új tudományágnak: *oceanográfia*. A mélységek mérésével arra is rájöttek, hogy az Atlanti-óceán közepén hegyek vannak, amiből néhányan arra következtettek, hogy megtalálták Atlantiszt, az elveszett földrészt.

Mivel a tudományos intézményekben nemigen foglalkoztak a tengerekkel, a mélységek világának felderítése a kevés buzgó amatőrre maradt. A modern mélyvízi kutatások 1930-ban kezdődtek Charles William Beebe-bel és Otis Bartonnal. Bár egyenrangú társak voltak, Beebe színesebb egyéniség volt, ezért a sajtó mindig inkább vele foglalkozott. 1877-ben született egy jómódú New York-i családban. Állattant tanult a Columbia Egyetemen, majd madárgondozó lett a New York-i Állattani Társaságnál. Ezt megunta, és elhatározta, hogy felcsap kalandornak. A következő negyed évszázadban beutazta egész Ázsiát és Dél-Amerikát vonzó asszisztensnői társaságában, akik a munkaköri leírásuk szerint „történészek és technikusok” vagy „halprobléma-megoldók” voltak. Utazásait részben népszerű könyveiből finanszírozta, amelyek ilyen vonzó címeket viseltek: *Az őserdő széle* és *Őserdei napok*, de írt komoly könyveket is az állatvilágról.

Az 1920-as évek végén a Galápagos-szigetcsoporton járt, és felfedezte a „himbálódzás örömét”, ahogy ő nevezte, vagyis a mélytengeri búvárkodást. Hamarosan csatlakozott hozzá Barton, egy még gazdagabb család sarja, szintén Columbia-növendék, aki ugyanolyan kalandvágyó természetű volt. Bár az érdem a nagyközönség szemében Beebe-é, Barton tervezte az első gömb alakú mélytengeri búvárkészüléket, a batiszférát (a szó tartalmazza a *mély* jelentésű görög szót), sőt ő fizette ki érte a 12 000 dollárt is. Kicsi, robusztus kamrát képzeljünk el, amely majdnem 4 centiméter vastag öntöttvas-

ból készült, két apró ökörszemablakát pedig 7,5 centiméter vastag üveg fedte. Két ember fért bele, de csak ha igen szoros barátságban voltak. A készülék már akkoriban sem számított műszakilag különösebben fejlettnek. Nem lehetett irányítani (egy hosszú kábelen függött), levegőcserélő rendszere pedig a lehető legegyszerűbb volt: a kilélegzett szén-dioxid semlegesítésére nyitott nátronmész tartályokat helyeztek el, a levegő párátlanítását pedig kalcium-kloriddal oldották meg, ami fölött néha pálmalevéllel legyeztek, hogy gyorsítsák a vegyi folyamatot.

De a névtelen kis batiszféra megtette, amire tervezték. Az első merüléskor, 1930 júniusában Barton és Beebe a Bahama-szigeteken felállította a merülési csúcsot: 183 méter mélységbe ereszkedtek. 1934-re rekordjuk már a 900 métert is meghaladta, és ezt csak a második világháború után döntötték meg. Barton biztos volt benne, hogy a szerkezet 1400 méteres mélységig biztonságos, de minden csavar és eresztéknél recsegett-ropogott, amikor merültek. Veszélyes munka volt. 900 méternél a kis ablakuk minden négyzetcentiméterére 3 tonna nyomás nehezedett. Ha a jármű mégsem állta volna ki a nyomást, a mélyben azonnal meghaltak volna, ahogyan ezt Beebe nem győzte hangsúlyozni könyveiben, cikkeiben és rádióműsoraiban. Fő aggodalmuk azonban az volt, hogy ha a beépített fedélzeti csörlő, amelynek a fémgömböt és kéttonnányi acélkábelt kellett tartania, eltörne, akkor a két utas a tengerfenékre süllyedne. Ebben az esetben sehogyan sem lehetett volna megmenteni őket.

Merüléseik, bármilyen híresek voltak is, nem hoztak sok tudományos újdonságot. Bár sok olyan tengeri élőlényt láttak, amilyet még előttük senki, a két rettenthetetlen merülő a korlátozott látásviszonyok és saját korlátozott oceanográfiai ismereteik miatt legtöbbször nem tudta részletesen leírni a látottakat, pedig a felszínen a tudósok ezt várták volna tőlük. A gömbnek nem volt külső világítása, csak egy 250 wattos izzójuk volt, amit odatarthattak az ablakhoz. De 150 méter alatt a víz már átláthatatlan volt, és vastag üvegrétegen keresztül kellett nézniük, tehát ahhoz, hogy valamit alaposan megvizsgálhassanak, kellett az is, hogy az illető lényt ők legalább ugyanennyire érdekeljék. Jelentéseik tehát nagyjából annyiból álltak, hogy sok érdekes dolog van a mélyben. Egy 1934-es merülés alkalmával Beebe ijedten figyelt fel egy hatalmas kígyóra, ami „több, mint hét méter hosszú és nagyon széles volt”. Túl gyorsan haladt el mellettük, és szinte csak az árnyékát látták. Akármi volt is, azóta sem látott senki ehhez hasonlót. Az ilyen homályos leírások miatt a tudósok nem sokat törődtek a beszámolókkal.

1934-es rekordot jelentő merülésük után Beebe-et már nem foglalkoztatta a víz alatti világ, és más kalandokat keresett, de Barton megmaradt a tengernél. Beebe becsületére legyen mondva, hogy mindig úgy nyilatkozott, minden kalandjuk ötletgazdája Barton volt, de Barton ennek ellenére mindig az árnyékában maradt. Pedig ő is izgalmas beszámolókat írt víz alatti kalandjaikról, sőt, el is játszotta egy hollywoodi film, a *Titans of the Deep* (A mélység titánjai) főszerepét, batiszférában merülve és vad, hatalmas tintahalakkal és egyebekkel harcolva. Még a Camel cigaretta hirdetésében is szerepelt (a szlogen ez volt: „Ettől megszűnik az idegességem.”) 1948-ban 1370 méterre jutott le, és ezzel másfélszeresére emelte a merülési rekordot a Csendes-óceánban, Kalifornia közelében, de úgy tűnik, a világ már eldöntötte, hogy nem vesz róla tudomást. A *Titans of the Deep* egyik kritikusa azt hitte, a film főszereplője Beebe. Manapság szinte csodaszámba megy, ha valaki ismeri Barton nevét.

Hamarosan a valóságban is túlteljesítették Bartont. Auguste és Jacques Piccard, egy svájci apa-fiú páros új szondatípust talált fel, amelynek a batiszkáf, magyarul tengerfenékjáró nevet adta. Az első ilyet *Trieste* névre keresztelték, mert ebben az olasz városban építették. Az új eszköz már irányítható volt, bár sokkal többet nem tudott, mint le- és fölmenni. Egyik első merülésén, 1954 elején 4000 méter alá ment, ami háromszor akkora mélység, mint Barton hat évvel korábbi rekordja. A mélytengeri

merülések azonban sokba kerültek, és Piccardék lassan elszegényedtek.

1958-ban megegyeztek az Egyesült Államok tengerészetével, hogy a hajó az államé lesz, viszont továbbra is ők működtetik. A két svájci újjáépítette a berendezést, most már 13 centiméter vastag falakkal, és csak 5 centiméter átmérőjű, tehát gyakorlatilag kémlelőnyílás méretű ablakokkal. A szerkezet ezzel elég erőssé vált a hatalmas nyomás elviselésére, és 1960 januárjában Jacques Piccard és Don Walsh tengerészhadnagy szép lassan az óceán legmélyebb szurdoka, a (Harry Hess mélységmérőjével felfedezett) Mariana-árok fenekére süllyedt, körülbelül 400 kilométerre a Csendes-óceán nyugati részén fekvő Guamtól. Kevesebb, mint négy óra alatt 10 918 méter mélyre hatoltak. Bár a nyomás ott körülbelül 1 tonna négyzetcentiméterenként, csodálkozva vették észre, hogy a fenékre érve ott élő lepényhalakat riasztanak fel. Nem volt fényképezőgépük, tehát erről nincsen képi bizonyíték.

Húsz percet töltöttek a világ legmélyebben fekvő pontján, majd a felszínre emelkedtek. Azóta sem járt ember ilyen mélyen.

Negyven évvel később természetesen adódik a kérdés: miért. Először is, volt valaki, aki nyomatékosan ellenezte a további merüléseket. Hyman G. Rickover altengernagy heves vérmérsékletű, merev nézetű ember volt, és ő kezelte a tengerészet pénztárának ide vonatkozó részét. Úgy gondolta, a víz alatti kutatással értékes erőforrásokat pazarolnak el, és ragaszkodott ahhoz a véleményéhez, hogy a haditengerészet nem kutatóintézet. Másodszor, Amerikát elsősorban az űrutazás érdekelte, és az, hogy hamarosan embert küldhetnek a Holdra; ehhez képest a mélytengeri kutatás ódivatú, nem túl fontos ügy volt. A harmadik szempont volt a döntő. A *Trieste* merüléséből ugyanis nem sok új ismeretünk származott. Évekkel később így beszélt erről egy tengerészeti tiszt: „Nem sokat tudtunk meg belőle, legfeljebb annyit, hogy képesek vagyunk rá. Minek megismételni?” Röviden szólva, túl hosszú és költséges út ez egyetlen lepényhal megpillantásához. Ha ma végeznék el ugyanazt a merülést, az legalább 100 000 dollárba kerülne.

A tengerkutatókat fájdalmasan érintette, hogy a haditengerészet – ígéretétől eltérően – nem folytatja a kutatási programot. Tiltakozásuk hatására a tengerészet kifizette egy még fejlettebb merülő eszköz megépítését, de működtetnie már a Massachusettsi Woods Hole Oceanográfiai Intézetnek kellett. Az új jármű neve *Alvin* lett, Allyn V. Vine oceanográfus tiszteletére. Ez már egy teljesen irányítható kis tengeralattjáró volt, de nem tudott olyan mélyre hatolni, mint a Trieste. Volt egy nagy gond: a tervezői nem találtak rá kivitelezőt. William J. Broad így írt erről *The Universe Below* (Az alattunk lévő világegyetem) című könyvében: „Az olyan nagy cégek, mint például a General Dynamics, amelyek a haditengerészet tengeralattjáróit gyártották, szóba sem akartak állni egy olyan vállalkozással, amelyet mind a Hajózási Hivatal, mind Rickover tengernagy – a tengerészet két alappillére – lebecsült.” Végül, teljesen valószínűtlen módon az *Alvin*t a General Mills nevű élelmiszer-előállító cég építette meg abban az üzemében, ahol a reggelizőpelyheket előállító gépeket gyártották.

A kutatóknak mindeddig fogalmuk sem volt arról, hogy mi lehet a mélységben. Az oceanográfusok még az 1950-es években is azokat a térképeket használták, amelyek az évtizedekkel korábban, rendszertelenül végzett kutatások és a térképészek becslései alapján készültek. Az Egyesült Államok tengerészetének kiváló térképei voltak, amelyek segítségével a tengerjárókat biztonsággal vezették végig az óceán szurdokain, és elkerülték a tenger alatti hegyeket, de nem akarták, hogy ezek a szovjetek kezébe kerüljenek, ezért hadititokként kezelték őket. A tudósoknak tehát maradtak a régi térképvázlatok és a feltételezések. Az óceánfenékről csak nagy vonalakban tudunk beszélni. Ha valaki a Holdra néz egy amatőr távcsővel, örüljön, hogy a látott méretes kráterek (például a Fracastorious, a Blancanus, a Zách, a Planck és még számos más ismert kráter) nem a földi óceánok mélyén van, mert akkor való-

színűleg nem tudnánk róluk. Még a Marsról is jobb térképeink vannak, mint saját tengerfenekeinkről.

A tengerfelszín kutatási módszerei is kicsit ötletszerűek. 1994-ben 34000 jégkorongkesztyű került véletlenül a tengerbe egy koreai teher-hajóról egy csendes-óceáni viharban. A kesztyűk mindenhová eljutottak Vancouvertől Vietnamig, és ezzel az oceanográfusok többet tudtak meg az áramlásokról, mint sokéves kutatással.

Ma az *Alvin* már majdnem negyvenéves, de még ma is ez a világ legjobb kutató járműve. Nincsen olyan berendezésünk, amellyel el lehetne jutni a Mariana-árok aljára, és az *Alvin*nel együtt összesen öt olyan működik, amellyel le lehet jutni a mélytengeri síkságra, pedig ebből áll bolygónk felszínének mintegy fele. A mélybe merülő szerkezetek működtetése napi 25 000 dollárba kerül, ezért nem szokták csak úgy véletlenül a vízbe pottyantani őket, és soha nem indítják útjára mondván „hátha talál valami érdekeset". Olyan ez, mintha a felszíni világot abból ismernénk, amit öt kerti traktoron utazó ember lát naplemente után. Robert Kunzig szerint „az ember a tengeri sötét világnak talán még csak milliomod vagy milliárdod részét ismerte meg. Lehet, hogy kevesebbet. Lehet, hogy sokkal kevesebbet".

De az oceanográfusok szorgalmasak, és sok fontos dologra rájöttek korlátozott eszközeik ellenére. 1977-ben például megtették a XX. század egyik legfontosabb és legmeglepőbb biológiai felfedezését. Az *Alvin* a Galápagos-szigetcsoport melletti mélytengeri kürtőkben és környékén nyüzsgő többsejtű lények hatalmas telepeire bukkant: 3 méternél hosz-szabb korallférgekre, 30 centiméter széles tátogókagylókra, sok-sok garnélarákra és éti kagylóra, tekergőző *Loimia medusa* férgekre. Ezek az élőlények mind a kürtőből folyamatosan áramló baktériumoknak köszönhették létezésüket, amelyek az élethez az energiát hidrogén-szulfidokból nyerték (ezek a vegyületek a szárazföldi élőlények számára abszolút mérgezők). Ebben a világban nincsen napfény, oxigén vagy bármi más, amit általában elengedhetetlennek tartunk az élethez. Ez az élő rendszer nem fotoszintézisen, hanem kemoszintézisen alapul; ha ez korábban eszébe jutott volna egy élénk fantáziájú amatőrnek, a biológusok egy kézlegyintéssel elintézték volna.

Ezekből a kürtőkből hatalmas hő- és energiamennyiségek szabadulnak fel. Kéttucatnyi kürtő felér egy rendes erőművel, és irtózatos hőmérséklet van körülöttük.[60] A kiömlési ponton akár 400 °C is lehet, miközben néhány méterrel távolabb a víz csak 1-2 fokkal haladja meg a fagypontot. Az *Alvinellidae* családba tartozó férgek valahol a hideg és meleg víz határán élnek; a fejüknél a víz hőmérséklete 78 fokkal magasabb, mint a farkuknál. Korábban úgy gondolták, 54 °C-nál melegebb vízben nem élhetnek többsejtűek, és most itt van ez, ami ennél többet is kibír és ugyanakkor a nagy hideget is. E felfedezés megváltoztatta az élethez eddig elengedhetetlennek tartott követelményrendszerről alkotott képünket.

Sikerült ugyanakkor megtalálni a megoldást az oceanográfia egyik nagy rejtélyére is – egy olyan kérdésre, amiről a legtöbben nem is tudtunk –, hogy az óceánok miért nem lesznek egyre sósabbak. Tudom, hogy ezzel nem árulok el nagy titkot, de a tengerekben sok só van – annyi, hogy ha mind kihordanánk a szárazföldre, 150 méter vastagon borítaná be azt. Évszázadok óta ismert, hogy a folyók ásványi anyagokat visznek a tengerekbe, amelyek az ott lévő ionokkal együtt sókat alkotnak. Eddig semmi probléma. Ami viszont meglepő, az a tengervíz változatlan sótartalma. Nap mint nap sok millió liter édesvíz párolog az óceánokból, a só viszont ott marad, tehát az óceánoknak egyre sósabbaknak kellene lenniük, ez azonban nem következik be. Valami pontosan annyi sót vesz ki az óceánból, amennyi belekerül. Nagyon sokáig senki nem tudta, mi lehet az.

Az *Alvin* felfedezte mélytengeri kürtők megválaszolták a kérdést. A geofizikusok rájöttek, hogy a kémények úgy működnek, mint az akváriumok szűrői. Amikor a víz a földkéregbe kerül, a sók kiszű-

rődnek belőle, a kürtőkön keresztül pedig édesvíz jön fel. A folyamat nem túl gyors – egy óceán kitisztítása eltarthat akár tízmillió évig is –, de nincs miért sietnünk; a rendszer pedig kiválóan működik.

Jó példa arra, hogy pszichológiailag milyen távol vagyunk az óceánok mélyétől, az 1957-58-as Nemzetközi Geológiai Év során az oceanográ-fusok elé kitűzött fő cél: megállapítani, hogy az óceánok mélye alkalmas-e a radioaktív szemét elhelyezésére. Nem szigorúan bizalmas feladatról van szó, akkoriban még reklámozták is. Arról azonban mélyen hallgattak, hogy a veszélyes hulladék ilyen „ártalmatlanítása" akkor már vagy tíz éve javában folyt. 1946 óta az Egyesült Államokban bevett gyakorlat volt, hogy 200 literes vashordókat töltenek meg radioaktív hulladékkal, és szállítanak a Farallone-szigetekre, San Franciscótól mintegy 50 kilométerre, ahol azokat egyszerűen a tengerbe eresztik.

Az egész rendkívül hanyagul történt. A legtöbb hordó pontosan ugyanolyan volt, amilyeneket néha benzinkutak háta mögött vagy rendetlen gyárak udvarán rozsdásodni látunk; még csak szigeteléssel sem látták el őket. Ha egy hordó nem süllyedt el magától, ami gyakran megtörtént, belelőttek, hogy a víz belefolyhasson (és a plutónium, uránium és stroncium kiszabadulhasson). Csak az 1990-es években vetettek véget ennek a gyakorlatnak, de addigra az Egyesült Államok már sok százezer hordót dobott le körülbelül ötven különböző helyen – csak a Farallone-szigeteken majdnem ötvenezret. És ezzel Amerika nem volt egyedül. Boldogan szennyezte a tengert még Oroszország, Kína, Japán, Új-Zéland és majdnem minden európai ország is.[61]

És vajon milyen hatással van mindez a tenger élővilágára? Reméljük, nem naggyal, de nem tudhatjuk. Meghökkentően, pazarlón, tündöklően nem foglalkozunk a tenger élővilágával. Még a legjelentősebb óceáni állatokat is csak alig ismerjük – például a legnagyobbat, a nagy kék bálnát, amelynek olyan irdatlan a mérete, hogy (David Attenborough szerint) „a nyelve olyan nehéz, mint egy elefánt, a szíve akkora, mint egy autó, és egyes erei olyan vastagok, hogy úszkálhatnánk bennük". Ez a Föld legnagyobb élőlénye, még a legormótlanabb dinoszauruszoknál is nagyobb. Életüket viszont nem ismerjük. Legtöbbször nem tudjuk, hol vannak, például hol szaporodnak, és milyen utakon jutnak oda. Ami keveset tudunk róluk, azt onnan tudjuk, hogy néha kihallgatjuk éneküket, amit még nem fejtettünk meg. A kék bálnákkal megtörténik, hogy abbahagynak egy éneket, majd hat hónappal később ott folytatják, ahol megszakították. Néha új dalba kezdenek, amelyet a többiek még soha nem hallhattak, de valahonnan mégis ismernek. Fogalmunk sincsen, hogy ezt hogyan és miért teszik. És most arról az állatról van szó, amelyik a leggyakrabban jön fel a felszínre levegőt venni.

A felszínen soha nem mutatkozó élőlényekről ne is beszéljünk. Ott van például a legendás óriás tintahal. Bár nem mérhető össze a kék bálnával, szép nagy állat ez is; szeme futball-labdányi, csápjait pedig akár 18 méterre is ki tudja nyújtani. Tömege majdnem egy tonna, és ezzel a Föld legnagyobb gerinctelen állata. Ha betennénk egy 50 méteres úszómedencébe, nem sok minden más férne mellé. Még sincsen egyetlen olyan tudós – vagy amatőr –, aki valaha élő óriás tintahalat látott volna. Több zoológus szánta már rá az életét, hogy befogjon, vagy akár csak megpillantson egy élő óriáspolipot, de nem sikerült. Leginkább onnan ismerjük az állatot, hogy néha kidobja a víz a partra; ez főként Új-Zéland délebbi szigetén gyakori jelenség. Pedig sok óriás tintahalnak kell lennie, mert az ámbra-cetnek[62] ez a fő tápláléka, márpedig a cetek nem érik be kevéssel.[63]

Egy becslés szerint lehet, hogy harmincmillió állatfaj él a tengerekben; ebből alig néhányat ismerünk. A tengeri élet gazdagságáról az első jelzést az 1960-as években kaptuk, amikor feltalálták a mélységi gyűjtőszánt, amellyel nemcsak a tengerfenéken, hanem az ottani üledékben élő lényeket is be tudták gyűjteni. Howard Sandler és Robert Hessler, a Woods Hole Oceanográfiai Intézet munkatársai a kontinentális talapzaton, 1,5 kilométeres mélységben egy óra alatt több mint huszonötezer élőlényt

gyűjtöttek össze: férgeket, tengeri csillagokat, tengeri uborkákat és másokat, összesen 365 különböző fajt. Még majdnem 5 kilométeres mélységben is 3700 lényt találtak több mint 200 fajból. De ezzel csak olyan állatokat fogtak el, amelyek túl lassúak vagy buták voltak ahhoz, hogy a hálót kikerüljék. Az 1960-as évek végén John Isaacs tengerbiológusnak jó ötlete támadt: kamerát kellene leereszteni, és csalit erősíteni hozzá. Így még több tengeri élőlényt talált, például a sűrű rajokban vonuló közönséges nyálkás angolnát és a *Macrouridae* családba tartozó halakat. Amikor hirtelen hozzáférhetővé vált valamilyen élelemforrás – például egy bálna elpusztult, és a fenékre süllyedt –, ott akár 390 lakmározó fajt is találtak. Érdekes, hogy ezek közül néhány 1600 kilométerre lévő kürtőkből származott, például éti kagylók és tátogókagylók – pedig ők nem tartoznak a világ legnagyobb utazói közé. Lehet, hogy ezen élőlények lárvái addig sodródnak a vízzel, amíg valamilyen ismeretlen vegyi úton nem észlelik, hogy élelemforrás közelében vannak, és akkor kifejlődnek.

Ha egyszer a tengerek ilyen hatalmasak, hogyan lehetséges, hogy ilyen könnyen túl tudjuk terhelni őket? Először is, a tengerek és óceánok nem mindenütt egyformán termékenyek; ez az óceánnak kevesebb mint egytizedéről mondható csak el. A legtöbb tengeri élőlény a sekély vizeket kedveli, ahol meleg van, világosság és sok szerves anyag; itt vannak a legműködőképesebb táplálkozási láncok. A korallzátonyok például az óceánok térfogatának kevesebb mint 1%-át foglalják el, mégis ezek körül él a halak egynegyede.

Máshol az óceán már nem olyan gazdag. Vegyük például Ausztráliát. Tengerpartja 36735 kilométeres, és több mint 23 millió négyzetkilométernyi felségvize van, amivel messze a világ legtöbb tengerrel bíró országa, mégis (Tim Flanneryt idézve) még csak be sem került az ötven legtöbb halászzsákmányt felmutató ország közé, sőt, nagy halimportáló. Ez azért van, mert Ausztrália vizeinek nagy részét, a szárazföldhöz hasonlóan, sivatag foglalja el. (Említésre méltó kivétel a Queensland melletti Nagy Korallzátony, ami viszont pazarul termékeny.)

Mivel a talaj tápanyagban szegény, a róla lefutó vízben gyakorlatilag semmi használható nem marad.

Még ahol virágzik is az élet, ott is állandóan fennáll a káros hatások veszélye. Az 1970-es években több ausztrál és néhány új-zélandi halász felfedezte, hogy egy ritka halfaj több raja is él a körülbelül 800 méter mélyen fekvő kontinentális talapzatokon. Az atlanti csillagosszemű[64] halról van szó, amit különlegesen finomnak találtak, és sok volt belőle. Hamarosan évi 40 000 tonnát halásztak belőle. A tengerbiológusok viszont ijesztő felfedezést tettek. Az atlanti csillagosszemű hal nagyon hosszú életű, és lassan fejlődik. Akár 150 évig is elélhet. Ha önnek véletlenül abban a szerencsében volt része, hogy atlanti csillagosszemű halat evett, előfordulhat, hogy vacsorája az 1848-as szabadságharc alatt született! Az atlanti csillagosszemű hal azért állhatott rá erre a lassú életritmusra, mert a közeg, amelyben él rendkívül szegény táplálékban. Az ilyen vizekben a halak általában életükben csak egyszer ívnak. Könnyen érthető tehát, hogy egy ilyen populáció érzékenyen reagál a beavatkozásra. Sajnos, mire erre rájöttek, a halak száma drasztikusan megfogyatkozott. Kétséges, hogy még a legjobb szándékú emberi beavatkozás mellett is fennmaradhatnak-e.

Máshol az óceánt kíméletlenül, semmivel nem törődve lerabolták. Sok halász él a cápák „uszonyozásából”, vagyis abból, hogy levágják az uszonyt, majd a szerencsétlen állatot visszadobják a vízbe, ahol az elpusztul. 1998-ban a Távol-Keleten egy kilogramm cápauszony 110 dollárba került; Tokióban egy tányér cápauszonyleves 100 dollárba. A WWF (*World Wildlife Fund for Nature*) 1994-es becslése szerint évente 40-70 millió cápát ölnek meg a világon.

1995-ben a világ körülbelül 37 000 ipari méretű és kb. egymillió kisebb halászhajójával kétszer

annyi halat fogtak, mint huszonöt évvel korábban. Ma már tengeri cirkáló méretű hálóvonó hajók vannak, és ezek akkora hálót húznak maguk után, hogy akár egy tucatnyi óriás sugárhajtású repülőgép beleférne. Egyes halászok megfigyelő repülőgépekkel derítik fel a halrajokat.

A felhúzott hálók tartalmának körülbelül az egynegyedére nincsen szükség (azokra a halakra, amelyeket nem visznek partra, mert túl kicsik, vagy nem megfelelő fajtájúak, vagy rosszkor fogták ki őket). Egy megfigyelő így számolt be erről az *Economist* lapnak: „Ez még mindig a sötét középkor. Leeresztjük a hálót, aztán meglátjuk, mi jön föl." Évente akár 22 millió tonna is lehet az ilyen felesleges halak össztömege, amelyeket visszadobnak a vízbe, legtöbbször már holtan. Minden kilogramm garnélarák begyűjtésekor körülbelül négy kilogramm hal és más tengeri élőlény pusztul el.

Az Északi-tenger fenekének nagy területeit évente akár hétszer is tisztára kotorják sugaras vonóhálós hajókkal, és ekkora beavatkozást egyetlen ökoszisztéma sem bír ki. Az ottani fajok legalább kétharmadát kipusztulás fenyegeti a túlzott halászat miatt. Az Atlanti-óceánban sem jobb a helyzet. Régebben New England partjainál annyi óriási laposhal volt, hogy egy-egy halászhajó akár 10 tonnát is behozott egy nap. Ma szinte kihalt Amerika egész északkeleti partja mentén.

De semmi nem hasonlítható a tőkehal sorsához. A XV. század végén John Cabot felfedező hihetetlen mennyiségű tőkehalat talált Észak-Amerika keleti homokpadjainál, amely, lévén sekély víz, kiváló élőhelye a fenéken táplálkozó halaknak, köztük a tőkehalnak is. Annyi tőkehal volt, hogy Cabot beszámolója szerint a tengerészek kosárral merték ki a vízből. És a homokpadok némelyike hatalmas volt; a Massachusetts melletti *Georges*-pad például nagyobb, mint a vele határos állam. Az Újfundlandi Nagy-zátony területe még ennél is nagyobb, és évszázadokon át rengeteg tőkehalat halásztak innen is. Azt hitték, a készlet kimeríthetetlen. Természetesen nem volt az.

1960-ra az Atlanti-óceán északi felének tőkehalállománya körülbelül 1,6 millió tonnára csökkent. 1990-re ez tovább csökkent 22 000 tonnára. Kereskedelmi szempontból nyugodtan mondhatjuk, hogy a tőkehal kihalt. Mark Kurlansky így ír lenyűgöző történetében: „A halászok mindet kifogták." Lehet, hogy az Atlanti-óceán nyugati részében már soha nem lesz több tőkehal. 1992-ben teljesen leállították a tőkehalhalászatot az új-fundlandi Nagy-zátonyon, de a *Nature* egy beszámolója szerint az állomány még mindig nem tért magához. Kurlansky elmeséli, hogy a halrudacskákat eredetileg tőkehalból készítették, utána foltos tőkehalból, később bajuszos vörösmárnából/lazacból. Amikor abból sem volt már elég, csendes-óceáni sávos tőkehalból, azután pedig, jegyzi meg szárazon, „bármiből, ami éppen akadt".

Sok más tengeri ennivalóról is hasonlót mondhatunk. A Rhode Island környékén halászok régebben gyakran fogtak 9 kilogramm körüli homárokat, de akadtak 13 kilogrammos példányok is. Ha békén hagyjuk őket, a homárok évtizedekig is elélnek – egyesek szerint 70 évig is – és közben folyamatosan nőnek. Manapság a halászott homárok ritkán érik el az 1 kilogrammot. A *New York Times* szerint: „A biológusok becslése szerint a legtöbb homárt egy éven belül kifogják, miután elérte a törvényben megszabott minimális méretet. Ezek a homárok körülbelül hatévesek." Bár egyre kevesebb a halászzsákmány, a New England-i halászokat állami és szövetségi adókedvezményekkel ösztönzik – néha majdhogynem kényszerítik – arra, hogy egyre nagyobb hajókkal egyre alaposabban halásszák le a tengert. Ma a massachusettsi halászok már csak visszataszító közönséges nyálkás angolnára halásznak, amely iránt van némi kereslet a Távol-Keleten, de lassan ez az állomány is kimerül.

Különös, hogy ennyire nem törődünk vele, milyen szabályok szerint működik a tengerek élete. Amíg a túlhalászás miatt egyes tengerekben sokkal kevesebb élőlény él, mint amennyi élhetne, némely, természetéből adódóan kihalt helyen sokkal több élet van a kelleténél. Az Antarktiszt körülölelő tenge-

rekben a világ növényi plankton-mennyiségének csak mintegy 3%-a képződik. Azt hinnénk, ez nem elég egy élő rendszer alapjául, de tévedünk. Nem sokat hallottunk a rákevő fókákról, pedig lehet, hogy az ember után ők a második legnépesebb nagy testű faj a Földön. Az Antarktisz körüli egymásra torlódó jégtömbökön körülbelül 15 millió példány él. Van még vagy 2 millió Weddel-fóka is, legalább félmillió császárpingvin és talán négymillió Adélie-pingvin. Azt gondolhatnánk, túl sokan vannak a tápláléklánc végén, de valamiért mégis működik, bár senki nem tudja, hogyan.

Az egészet annak illusztrálására írtam le, hogy milyen keveset tudunk a Föld legnagyobb rendszeréről. Viszont, mint látni fogjuk a könyv fennmaradó részében, amint elkezdünk az életről beszélni, azonnal rájövünk, hogy milyen keveset tudunk róla, és még arról is, hogy hogyan keletkezhetett.

19.
AZ ÉLET KELETKEZÉSE

1953-ban Stanley Miller, egy egyetemi továbbképző tanfolyam hallgatója a Chicagói Egyetemen, fogott két lombikot. Az egyikben egy kis víz volt, mintha ez lenne az ősóceán, a másikban pedig egy gázkeverék metánból, ammóniából és hidrogén-szulfidból, ez volt a Föld őslégköre. A kettőt gumicsövekkel kötötte össze, és egy-egy szikrát is adott a rendszerhez, mintha villámlana. Néhány nap múlva a vizet tartalmazó lombik sárgászöldre változott, mert kialakultak benne az aminosavak, zsírsavak, cukrok és más szerves vegyületek. Miller tanára, a Nobel-díjas Harold Urey elégedetten jegyezte meg: „Ha a Teremtő nem így csinálta, akkor túlbonyolította a dolgot."

Akkoriban a sajtó úgy számolt be erről a fejleményről, mintha csak egy pár lombikot kellene megrázni, és máris élet pattanna ki belőlük. De az idő megmutatta, hogy ez azért nem ilyen egyszerű. Bár azóta már eltelt egy fél évszázad, nem vagyunk közelebb az élet mesterséges előállításához, mint 1953-ban, csak már sokkal jobban látjuk, milyen messze is vagyunk tőle. A mai tudósok úgy gondolják, a Föld légköre közel sem volt olyan alkalmas a fejlődés beindítására, mint Miller és Urey gázkeveréke, hanem inkább csak nitrogén és szén-dioxid keveréke lehetett, ami nem annyira reakcióképes. Amikor Miller kísérletét ezzel az anyaggal próbálták újra, csak egyetlen, meglehetősen egyszerű aminosavat kaptak. De egyébként sem az aminosavgyártás a fő gond, hanem a fehérjék.

Ha aminosavakat fűzünk össze, fehérjéket kapunk, márpedig nekünk sok fehérjére van szükségünk. Nem tudjuk pontosan, de lehet, hogy millióféle fehérje van az emberi testben, és önmagában mindegyik egy kis csoda. A valószínűség-számítás törvényei szerint fehérjék nem is létezhetnének. A fehérjékhez aminosavak kellenek (amelyeket már-már közhelyszerűen „az élet építőköveinek" hívnak), méghozzá egy adott sorrendben, mint ahogyan egy szó is csak akkor értelmes, ha betűi a megfelelő sorrendben következnek egymás után. Az aminosav-ábécé szavai viszont gyakran szerfelett hosszúak. A kollagénnek, ennek a közönséges fehérjének a „betűzéséhez" a magyar nyelvben csak nyolc betű kell, az aminosavakból való elkészítéséhez viszont 1055-féle aminosavra, de természetesen ezek is csak egyetlen megfelelő sorrendbe rakva lesznek jók. De – és itt most egy nyilvánvaló, de nagyon fontos állítás következik – a kollagént nem készítjük. A kollagén készül – magától, irányítás nélkül, és itt jelenik meg a valószínűtlen elem.

Egy 1055 darabból álló molekula magától való összeállásának az esélye, ha jól számoljuk, nulla. Nem fog bekövetkezni. Képzeljünk el egy félkarú rablót, amit egy kicsit kiszélesítünk – úgy 27 méteresre –, hogy 1055 kerék férjen bele a szokásos három helyett, minden keréken húsz jellel (ezek jelentik a közönséges aminosavakat).[65] Vajon hányszor kellene megpörgetni a kerekeket, hogy mindegyik pontosan a megfelelő jelre álljon be? Gyakorlatilag örökké ott állhatnánk a gépnél. Még ha a kerekek számát kétszázra csökkentjük, akkor is $1:10^{260}$ (vagyis 260 nulla és egy egyes) az esélye annak, hogy egy előre megadott sorrend jöjjön ki. Ez nagyobb szám, mint ahány atom az egész világegyetemben van.

A fehérjék tehát igen összetett anyagok. A hemoglobinban csak 146 aminosav van, tehát egy törpe a többihez képest, de még ez is 10^{190}-féle aminosav-kombinációt engedne meg. Talán így jobban megértjük, miért telt huszonhárom évbe, amíg Max Perutz, a Cambridge Egyetem vegyésze feltérképezte. Ahhoz, hogy véletlenszerű események fehérjét hozzanak létre, elképesztő szerencse kell – mintha egy

forgószél után a roncstelepen összeállna egy Jumbo Jet (Fred Hoyle csillagász találó hasonlata).

És mégis több százféle fehérje van, de az is lehet, hogy egymillió, mind másmilyen, és mind, amennyire tudjuk, elengedhetetlen az olvasó jó közérzetéhez. És ez még nem minden. A fehérjéknek nemcsak a megfelelő sorrendben kell tartalmazniuk az aminosavakat, hanem utána egy adott formára össze kell csavarodniuk. És még ez sem elég; semmire sem mennénk, ha a fehérjék nem reprodukálódhatnának, márpedig erre önmaguktól nem képesek; ehhez DNS-re van szükség. A DNS egy igazi másológép: másodpercek alatt megduplázza magát, de sok másra nem képes. Paradox helyzet. A fehérjék nem léteznek DNS nélkül, a DNS céltalan fehérjék nélkül. Fel kell tehát tételeznünk, hogy egyszerre fejlődtek ki, hogy kölcsönösen támogassák egymást? Ha ez tényleg így volt, akkor gratulálunk!

És ez még mindig nem minden. A DNS, a fehérjék és az élet többi összetevője csak úgy működhetnek, ha valamiféle hártya összefogja őket. Az atomok és a molekulák külön-külön nem kelhetnek életre. Ha kiveszünk egy atomot a testünkből, az nem élőbb, mint egy homokszem. Csak ha együtt vannak egy biztonságos, tápláló sejtben, akkor tudják elkezdeni a csodálatos táncot, amelyet már életnek nevezhetünk. A sejt nélkül mindezek csak érdekes vegyületek. A vegyületek nélkül viszont a sejt értelmetlen lenne. Davies szerint: „Ha mindennek szüksége van minden másra, kezdetben hogyan állhattak össze a molekulák?” Olyan, mintha a konyhánkban lévő hozzávalók egyszerre csak összekeverednének, és egy szép tortát sütnének magukból, méghozzá olyan tortát, ami szükség szerint további tortákat süt. Nem csoda, ha ezt az élet csodájának nevezzük, és az sem csoda, hogy nemigen értjük, hogyan kezdődhetett.

Tehát miért is van ez a bámulatos összetettség? Lehet, hogy mégsem kell hozzá akkora véletlen, mint először gondoltuk. Vegyük például a fent említett, csodálatosan valószínűtlen fehérjéket. Bonyolult összetételük létrejötte csak akkor különös, ha feltételezzük, hogy teljes vértezetben pattantak elő. Lehet, hogy a hosszú fehérjeláncok nem egyszerre álltak össze? Mi van, ha a teremtés félkarú rablójában egyes kerekeket be lehet állítani? Más szóval, mi van, ha a fehérjék nem hirtelen képződtek, hanem kifejlődtek?

Képzeljük el, hogy fogjuk az összes anyagot, amelyből egy ember van: szenet, hidrogént stb., betesszük egy edénybe, némi vizet adva hozzá jól megkeverjük, és kilép egy kész ember. Ezen bizony elcsodálkoznánk. Hoyle és mások (sok buzgó kreacionistával együtt) viszont éppen ezt állították, amikor azt mondták, hogy a fehérjék ma ismert formájukban léptek fel az élet színpadára. Pedig ez, mint láttuk, nem lehetséges. Richard Dawkins azt írja *A vak órásmester* című könyvében, hogy kellett lennie valamiféle halmozott kiválasztási folyamatnak, amelynek során az aminosavak összeálltak. Lehet, hogy két-három aminosav valamilyen egyszerű okból összekapcsolódott, majd egy idő után összeütközött egy másik rövid lánccal, és „rájött”, hogy valamilyen szempontból ez még előnyösebb.

Az élethez kapcsolódó vegyi folyamatok meglehetősen köznapiak. Lehet, hogy laboratóriumban még nem tudjuk megismételni őket, ahogyan azt Stanley Miller és Harold Urey próbálták, de a világegyetem akárhányszor megteszi nekünk. A természetben sok molekula magától összeáll, és polimereket képez. A cukrok keményítőket alkotnak. A kristályok sok jellemzője hasonlít az élethez: többszöröződnek, hatnak rájuk a környezetükből származó ingerek, bonyolult mintákat képeznek. Nem nevezhetők élőnek, de megmutatják, hogy az összetettség természetes, magától kialakuló és teljesen megbízhatón ismétlődő jelenség. Nem tudjuk, hogy a világegyetem egyéb helyein van-e élet, de az biztos, hogy sok helyen található önszabályozó rend a hópelyhek megkapó szimmetriájától a Szaturnusz tet-

szetős gyűrűiig.

A természet annyira törekszik az összetettebb rendszerek kialakítására, hogy ma sok tudós úgy véli, az élet elkerülhetetlenebb fejlemény, mint gondoltuk volna. Christian de Duve belga Nobel-díjas biokémikus megfogalmazásában: „az anyag kötelező megnyilvánulása, ami megfelelő körülmények között mindenképpen megtörténik". De Duve valószínűnek tartja, hogy a körülmények ilyen együttállása a galaxisokban milliószor is létrejöhet.

Az biztos, hogy a minket éltető vegyületekben semmi különös nincsen. Ha valamilyen élőlényt szeretnénk létrehozni, aranyhalat, fejes salátát vagy éppen embert, négy fő elemre van szükségünk: szénre, hidrogénre, oxigénre és nitrogénre, valamint egy kevés kénre, foszforra, kalciumra és vasra. Ha ezeket körülbelül háromtucatnyi különböző kombinációban vegyítjük, megvannak a cukrok, savak és más alapvető vegyületek, és már építhetjük is a kiválasztott élőlényt. Dawkins szerint: „Semmi különös nincsen az élőlényeket felépítő anyagokban, hiszen azok is csak molekulákból vannak, mint minden más."

A lényeg az, hogy bár az élet csodálatos, és hálásak lehetünk érte, de semmiképpen nem valószínűtlen; erről létezésünk tanúskodik. Persze az élet kezdetének finom részletei még homályosak. Sokféle elképzelés született már róla, hogy milyen körülmények szükségesek a kialakulásához, de egyben mind megegyeznek: víz mindenképpen kell hozzá, legyen az Darwin „meleg pocsolyája", vagy a forró tengeri kürtők (mindkettő lehetett az a hely, ahol az élet először felbukkant). Van azonban még egy fontos körülmény. Ahhoz, hogy a monomerekből polimerek legyenek (tehát elkezdődjön a fehérjegyártás), egy olyan reakcióra van szükség, amelyet a biológusok dehidratációs kötésnek neveznek. Az egyik legjobb biológia-tankönyvben ez áll: „A kutatók szerint az ilyen reakciók energia szempontjából kedvezőtlenek lettek volna az őstengerben, vagy bármilyen vizes közegben a tömeghatás törvénye miatt", és ennek a szerzők észrevehetően nem örülnek. Kicsit olyan ez, mintha cukrot szórnánk egy pohár vízbe, és azt várnánk, hogy kockacukorrá álljon össze. Ez nem történik meg, a természet valamiért máshogyan működik. A könyv terjedelmén túlmutatna annak bemutatása, hogy pontosan hogyan játszódnak le ezek a vegyi folyamatok, elég, ha tudjuk, hogy ha a monomereket megnedvesítjük, nem lesz belőlük polimer, kivéve, ha életet kell létrehozni a Földön. A biológia egyik nagy megválaszolatlan kérdése, hogy ez miért kivételes eset.

A Földdel kapcsolatos egyik legújabb meglepetés az volt, amikor kiderült, milyen régóta van élet a Földön. Még az 1950-es években is úgy gondolták, hogy az élet nincsen hatszázmillió éves sem. Az 1970-es években már akadt egy-két merész tudós, aki szerint 2,5 milliárd éve is volt már élet. Ma úgy gondoljuk, az élet 3,85 milliárd éve alakult ki, ami eléggé meglepő, hiszen a Föld felszíne csak mintegy 3,9 milliárd éve szilárdult meg.

Stephen Jay Gould a következőket írta a *New York Times*ban 1996-ban: „Abból, hogy az élet ilyen gyorsan kialakult, arra következtethetünk, hogy a baktériumok könnyen kialakulnak, ha egy bolygón megfelelők erre a feltételek." Máshol így írt: „Nehéz más következtetésre jutni, mint arra, hogy az élet, mivel ilyen gyorsan kifejlődött, kémiailag elkerülhetetlen."

Az élet olyan hamar jelent meg, hogy van, aki azt gondolja, valahonnan segítséget kaptunk; lehet, hogy nem is keveset. Meglepően hosszú ideje foglalkoztatja az embereket az a gondolat, hogy a földi élet valahonnan az űrből származik, és néha komoly tudósok is foglalkoztak vele. Maga a nagy Lord Kelvin már 1871-ben felvetette ennek lehetőségét a Brit Társaság a Tudomány Haladásáért ülésén: „Lehet, hogy az élet csíráit meteorit hozta a Földre." A gondolat sokáig csak egy-két ember elképzelése maradt, egészen addig, amíg 1969 egyik szeptemberi vasárnapján Ausztráliában több tízezer em-

bert meg nem ijesztett egy hangrobbanás-sorozat és egy tűzgömb áthaladása az égen keletről nyugat felé. A tűzgolyó elhaladtában furcsa recsegő hangot adott ki, és olyan szaga volt, mint a denaturált szesznek vagy valami más kellemetlen anyagnak.

A tűzgolyó a Melbourne-től északra fekvő Goulburn-völgyben lévő Murchison nevű hatszáz lakosú városka felett robbant fel. Nagy darabok hullottak alá, volt közöttük 5 kilogrammos is. A meteor a ritka szenes kondrit típusúak közé tartozott, és a helybéliek segítőkészen összegyűjtötték a törmeléket, összesen több mint 90 kilogrammot. Az esemény nem is következhetett volna be jobbkor. Az Apolló-11 kevesebb, mint két hónappal korábban ért földet egy nagy adag holdkőzettel, ezért a világ számos laboratóriuma fel volt készülve a földön kívüli eredetű kőzetek vizsgálatára.

A Murchison-meteoritot 4,5 milliárd évesnek becsülték, és többféle aminosavat is találtak benne, összesen hetvennégyfélét, amelyek közül nyolc részt vesz a földi fehérjékben is. 2001 végén, több mint harminc évvel a becsapódás után, a kaliforniai Ames Kutatóközpont egy tudóscsoportja bejelentette, hogy a murchisoni kövekben bonyolult cukorláncokat (poliol vagy többértékű alkohol) is találtak, mely anyagról eddig azt hitték, hogy a Földön kívül nem létezik.

1969 óta más szenes kondritanyagú meteoritok is a Föld útjába kerültek. Az egyik a kanadai Tagish-tó (a Yukon folyó egyik tágulata) környékén csapódott be 2000 januárjában, és Észak-Amerika nagy részéről látható volt. Ez és a többi hasonló meteor megerősítette a nézetet, hogy a világegyetem tele van szerves vegyületekkel. A Halley-üstökös egynegyede valószínűleg szerves molekulákból áll. Ha elég ilyen molekulát tartalmazó kőzet csapódik be a megfelelő helyre – például a Földre –, akkor máris megvannak az élet alapelemei.

A pánspermia (így hívják azokat az elméleteket, amelyek szerint az élet a Földön kívülről származik) gondolatával két probléma van. Az egyik: nem ad választ a kérdésre, hogy hogyan keletkezett az élet, egyszerűen csak áthárítja a felelősséget. A másik: még a legtiszteletreméltóbb követői is meggondolatlan következtetésekre ragadtathatják magukat. Francis Crick, a DNS szerkezetének egyik felfedezője és munkatársa, Leslie Orgel felvetették, hogy „a Földet értelmes, idegen lények szándékosan vetették be az élet csírájával”. Ez a felvetés Gribbin szerint „a felelős tudományos gondolkodás határait feszegeti” – vagy, másképpen fogalmazva, olyan gondolat, amelynek kiötlőjét azonnal őrültekházába csuknák, ha véletlenül éppen nem egy Nobel-díjas tudósról lenne szó. Fred Hoyle és kollégája, Chandra Wickramasinghe tovább csökkentették a pánspermia hitelét, amikor azt állították – amiről már volt szó a 3. fejezetben –, hogy az űrből nemcsak élet érkezett, hanem betegségek is, például az influenza és a bubópestis; ez utóbbi elképzelést a biokémikusok azonnal elutasították.[66]

Bármi indította is be az életet, az csak egyszer fordult elő. Ez a biológia, sőt lehet, hogy minden tudomány egyik legkülönösebb ténye. A valaha élt összes élőlény ugyanannak az ősi rándulásnak köszönheti a létét. Az elképzelhetetlenül távoli múlt egy pontján vegyületek egy kis csomagja addig izgett-mozgott, amíg életre nem kelt. Tápanyagokat vett fel, egy kicsit lüktetett, majd elpusztult, nem kizárt, hogy a dolognak ez a része többször is megtörtént már. Az a csomag azonban, amelyről most beszélünk, még egy elképesztő dolgot tett: kettéhasadt, és ezzel újrateremtette önmagát. Egy még kisebb csomagban örökítőanyagok kerültek az egyikből a másikba, és ez a folyamat azóta sem állt meg. Ez volt mindannyiunk teremtésének pillanata. A biológusok az ősrobbanás mintájára ezt a pillanatot néha ősszületésnek nevezik.

„Bárhová megyünk a világban, bármilyen állatot, növényt, bogarat vagy moszatot látunk, ha élő, ugyanazt a szótárat, ugyanazt a kódot használja. Minden élet egy” – mondja Matt Ridley biológus. Mindannyian egyetlen genetikai trükk eredménye vagyunk, ami nemzedékről nemzedékre száll immár

majdnem négymilliárd éve. Annyira egységes ez a kód, hogy ha fogjuk egy ember genetikai utasításkészletének egy darabját, és beletesszük egy tökéletlen élesztősejtbe, a sejt azonnal működtetni kezdi, mintha a sajátja lenne. És egy nagyon is valódi értelemben *tényleg a sajátja.*

Az élet hajnala – vagy valami, ami ehhez nagyon hasonlít – a canberrai Ausztrál Tudományegyetem barátságos izotóp-geokémikusa, Victoria Bennett irodájának falán lévő polcon található. Ms. Bennett Amerikában született, és Kaliforniából látogatott két évre az ausztrál egyetemre 1989-ben, és azóta is ott van. Amikor 2001 őszén meglátogattam, kezembe nyomott egy nem túl nehéz kődarabot, amelyben vékony fehér kvarccsíkok és szürkészöld klinopiroxén csíkok váltakoztak. A kő a görög Akilia-szigetről származik, ahol különösen régi köveket találtak 1997-ben. A kövek kora 3,85 milliárd év; ezek az eddig talált legrégebbi tengeri üledékes kőzetek.

– Nem tudhatjuk, hogy amit a kezében tart, vajon tartalmazott-e valaha élőlényeket; ehhez porrá kellene törnünk – mondta nekem Bennett. – De ugyanarról a lelőhelyről származik, ahol a legrégebbi életet találták, ezért *valószínűleg* volt benne élet.

Őskövületté alakult mikrobákat nem is lehet találni, mert ezek sajnos eltűnnek ugyanazon folyamat során, amikor az óceán iszapja kővé válik. Ha ezt a követ összetörnénk, és mikroszkóppal megvizsgálnánk, az élőlények vegyi maradványait találnánk: szénizotópokat és egy apatit nevű foszfátot, amelyek együtt arra utalnak, hogy a kőben valaha élőlény-kolóniák éltek.

– Csak találgathatunk, hogy miféle élőlények voltak – mondta Bennett. – Valószínűleg a legegyszerűbb élet, de akkor is élet. Élt. Terjeszkedett.

És végül sor került az emberre is.

Ha valaki nagyon régi kövekkel foglalkozik, mint Ms. Bennett, a fent említett egyetemen (rövidítése: ANU) nagyon jó dolga van. Ez főleg Bill Compston találékonyságának köszönhető, aki (ma már nyugdíjban van) az 1970-es években megépítette a világ első SHRIMP-jét (Sensitive High-mass Resolution Ion Microprobe, azaz érzékeny nagy felbontású ion mikroszonda). A gép az apró, cirkon nevű ásványokban méri az uránium bomlási sebességét. A cirkonok majdnem minden kőben megtalálhatók a bazaltok kivételével, és nagyon tartósak; ellenállnak minden természeti folyamatnak, a szubdukciót[67] kivéve. A földkéreg legnagyobb része járt már valamikor a Föld belsejében, de néha – például Nyugat-Ausztráliában és Grönlandon – a geológusok találnak olyan kőzeteket, amelyek mindig a felszínen maradtak. Compston gépe segítségével az ilyen kövek korát eddig soha nem tapasztalt pontossággal lehetett megállapítani. A SHRIMP prototípusát a Geológiai Tanszék saját műhelyében készítették el, és úgy nézett ki, mintha valaki a roncstelepről szedte volna össze az alkatrészeit, de kiválóan működött. Első hivatalos kipróbálásakor, 1982-ben a valaha talált legrégibb tárgy korát állapították meg vele: egy nyugat-ausztráliai kőét, amely 4,3 milliárd évesnek bizonyult.

– Nagy szenzáció volt ez akkoriban – mesélte Bennett –, hiszen egy nagyon fontos dolgot sikerült nagyon gyorsan kiderítenünk az új csúcstechnológia segítségével.

Elvitt magával, és megmutatta a legújabb modellt, a SHRIMP H-t. Nagy, nehéz, rozsdamentes acélból készült berendezést képzeljünk el, ami körülbelül 3,5 méter hosszú és 1,5 méter magas, és olyan ellenálló, mint egy mélytengeri szonda. Irányítópultjánál az új-zélandi Canterbury Egyetem Bob nevű munkatársa felügyelte a képernyőt. Elmesélte, hogy hajnali 4 óta van szolgálatban. Még csak reggel 9

volt, és Bob műszakja délben jár le. A SHRIMP napi 24 órán át működik, mert rengeteg kő vár korának meghatározására. Ha megkérünk két geokémikust, magyarázzák el, hogyan működik, lelkesen és kedvesen elkezdenek izotóp-előfordulási gyakoriságokról és ionizációs szintekről beszélni, de ez számomra sajnos kevés. A lényeg az, hogy a gép a vizsgálandó mintát töltött ionokkal bombázza, és érzékeli az ólom- és urániummennyiségek apró eltéréseit a cirkondarabkákban, amiből pontosan ki lehet számítani a kövek korát. Bob elmondta, hogy körülbelül tizenhét perc alatt lehet cirkont bemérni, de ahhoz, hogy megbízható adatokat kapjunk, minden kőben több tucat cirkonmintát kell megvizsgálni. De a gyakorlatban az egész folyamat nem igényel több erőfeszítést, mint kimosni egy adag ruhát – és körülbelül annyira izgalmas is. Ennek ellenére Bob boldognak látszott, de ez nem ritka az új-zélandiaknál...

A Geológiai Tanszék furcsa keveréke az irodának, laboratóriumnak és gépszínnek.

– Régebben mindent itt építettünk meg – mesélte Bennett. – Még üvegfúvó emberünk is volt, de ma már nyugdíjas. De még mindig van két kőtörő munkásunk. – Itt észrevette csodálkozó pillantásomat. – Tudja, sok követ kell megvizsgálnunk. És gondosan kell őket előkészítenünk. Vigyázni kell, hogy az előzőleg vizsgált mintából ne maradjon semmi, még por se. Eléggé aprólékos munka. – Megmutatta a kőtörő gépeket, amelyek tényleg valódinak tűntek, bár úgy látszott, a kőtörők éppen kávészünetet tartanak. A gépek mellett nagy ládákban álltak a különféle méretű és alakú kövek. Tényleg sok kő megy keresztül az ANU laboratóriumán.

Később visszatértünk Bennett irodájába, és észrevettem, hogy a falon egy nagy poszter van. Az élénk fantáziájú festő azt próbálta papírra vetni, hogyan nézhetett ki a Föld 3,5 milliárd éve, amikor az élet elkezdődött, a geológusok által archaikumnak nevezett korban. Idegen tájat láttam hatalmas, nagyon is működő vulkánokkal és gőzölgő, rézszínű tengerrel a rikító vörös ég alatt. Az előtérben sztromatolitok voltak; ez egyfajta baktériumtartalmú kő. Nem úgy nézett ki, mintha élet keletkezhetne, és maradhatna fenn rajta. Megkérdeztem, pontosnak tartja-e a képet.

– Nos, van olyan elképzelés, hogy már akkor hűvös volt, mert a Nap sokkal gyengébben sütött. – Később megtudtam, hogy amikor egy biológus vicces kedvében van, ezt nevezi a „kínai vendéglő problémának”, mert halvány Napunk volt. – Légkör nélkül egy mégoly gyenge Nap ultraibolya sugarai is felbontották volna a molekulák között fellépő kötéseket. És mégis itt – és a sztromatolitokra mutatott – élőlények vannak szinte a felszínen. Érthetetlen.

– Tehát nem tudjuk, milyen lehetett a világ régen?

– Ühüm – válaszolta elgondolkodva.

– Akkor sem tűnik úgy, mintha virágozna az élet.

Kedvesen bólintott. – De kellett lennie valaminek, ami megfelelt az élethez. Különben nem lennénk itt.

A látott táj valóban nem felelt volna meg az embernek. Ha időgéppel az archaikumba utazhatnánk, gyorsan vissza is jönnénk, mivel akkoriban nem volt több oxigén a Földön, mint amennyi ma a Marson van. Olyan mérges gázok keletkeztek a só- és kénsavakból, amelyek keresztülhatolnának a ruhánkon, és kimarnák a bőrünket. A kilátás sem lenne olyan tiszta, mint a Victoria Bennett falán lévő képen: a régi légkör sokkal sűrűbb volt, és alig engedett napfényt a felszínre. Annyit láttunk volna, amit a gyakori villámlás éppen megvilágít. Ez volt hát a Föld, de nem ismertük volna fel.

Az archaikumban nem volt sok változatosság. Körülbelül kétmilliárd éven keresztül az egyetlen életforma a baktériumok voltak. Éltek, szaporodtak, rajzottak, de nem mutatták a legkisebb jelét is, hogy valamiféle fejlettebb, érdekesebb létformára törekednének. De valami mégis történt: a cianobak-

tériumok, esetleg a kékeszöld moszatok, megtanultak kihasználni egy rendelkezésre álló erőforrást, a hidrogént, amely szinte végtelen mennyiségben megtalálható a vízben. Vízmolekulákat vettek fel, beépítették a hidrogént és kiengedték a számukra használhatatlan oxigént – feltalálták a fotoszintézist. Margulis és Sagan szerint a fotoszintézis „kétségkívül az élet történetének legfontosabb, anyagcserével kapcsolatos találmánya", és még csak nem is növényektől származik, hanem egy egyszerű baktériumtól.

A cianobaktériumok burjánzásával egyre több O_2 lett a világban, ami nagy sokk volt az olyan élőlényeknek, amelyek számára mérgező, akkoriban pedig nem is volt másféle élőlény. Egy anaerob (oxigént nem használó) világban az oxigén rendkívül mérgező hatású. Fehérvérsejtjeink oxigénnel harcolnak a szervezetünket támadó baktériumok ellen. Az oxigén alapvetően mérgező természete meglepheti azokat, akik meg vannak győződve a gázélethez elengedhetetlen mivoltáról, de ez csak azért van, mert fejlődésünk során megtanultuk, hogyan használjuk. Másoknak az oxigén szörnyűség. Tőle avasodik meg a vaj, és tőle rozsdásodik a vas. Még az ember is csak bizonyos mértékig viseli el. Sejtjeink oxigénszintje körülbelül egytizede a légkör oxigénszintjének.

Az új oxigénhasznosító élőlényeknek két előnye volt. Az oxigénnel jobban lehetett energiát termelni, és legyőzte a konkurens élőlényeket. Ezek közül egyesek visszahúzódtak a mocsarak és tófenekek nyúlós, levegőtlen világába. Mások is így tettek először, de később (sokkal később) utat találtak az emésztőcsatornáinkba. Ezen ősi lények nagy tömege él bennünk, segítve az emésztésünket, de elpusztulnának, ha oxigén érné őket. És sok olyan anaerob élőlény is volt, amely nem tudott alkalmazkodni az új körülményekhez, és kipusztult.

A cianobaktériumok megjelenése hatalmas siker volt. Az általuk termelt többletoxigén először nem gyűlt össze a légkörben, hanem vas-oxidokat képezett, és az őstengerek fenekére süllyedt. A világ évmilliókon keresztül csak rozsdásodott – a jelenség tanúi a ma is fellelhető vasércrétegek, amelyekből az általunk használt vasat bányásszák. Sok tízmillió éven keresztül más nem is igen történt. Ha visszamennénk a proterozoikumba, nem sokkal látnánk ígéretesebbnek a helyzetet az élet szempontjából, mint előző látogatásunkkor. Lehet, hogy egy-egy védettebb vízben találnánk egy kevés élő tajtékot, vagy esetleg némi fényes zöld vagy barna bevonatot a part menti köveken, de ez minden. Az élet még láthatatlan.

3,5 milliárd éve viszont valami látványosabb történt. A sekélyebb tengerekben látható szervezetek jöttek létre. A cianobaktériumok vegyi működésük során kicsit tapadósabbak lettek, így mikroszkopikus por-és homokszemcséket foghattak be, amelyek összetapadtak, és kicsit furcsa, de tartós szerkezetet képeztek – ezek a sztromatolitok, amelyeket Victoria Bennett falán láttam. A sztromatolitok mérete és nagysága változó. Egyesek túlméretezett karfiolhoz hasonlítanak, mások túltömött matrachoz (a szó a görög matrac jelentésű szóból származik), néha oszlop alakúak, és több tíz méterrel a víz felszíne fölé nyúlnak, sőt, vannak 100 méteresek is. Formájuktól függetlenül mindegyikről elmondhatjuk, hogy tulajdonképpen élő kő, és a világ első együttműködési kísérletéről tanúskodnak; különféle egyszerű élőlények élnek a rendszer felszínközeli részeiben és lejjebb, és mindegyiknek előnyös ez az együttélés. Ez a világ első ökoszisztémája.

A tudósok régóta ismerték a sztromatolitokat, hiszen jó néhány ilyen őskövületet találtak, de nagy meglepetés volt, amikor 1969-ben egy élő sztromatolittelepet találtak Shark Bay-ben, Ausztrália távoli nyugati partjainál. Váratlan felfedezés volt – olyan váratlan, hogy évekig nem is jöttek rá, mit találtak. Ma a Shark Bay turistalátványosság, már amennyire a bármi nagyobb helytől több száz, de még a kis helyektől is több tíz kilométerre lévő helyek turistalátványosságok lehetnek. Pallókat építettek az

öböl fölé, hogy meg lehessen nézni a közvetlenül a felszín alatt lélegző sztromatolitokat. Fénytelen szürke kövek, és, mint egy előző könyvemben már megírtam, leginkább hatalmas tehénlepényekhez hasonlítanám őket. Akkor is furcsa, szédítő pillanat, amikor a 3,5 milliárd évvel ezelőtti Föld maradványait látjuk. Richard Forteyt idézem: „Valódi időutazás ez, ha a világ értékelni tudná az igazi csodákat, az előttünk elterülő látvány éppoly ismert lenne, mint a gízai piramisok." Bár nem látszik, ezekben az unalmas kinézetű kövekben csak úgy nyüzsög az élet, és egy négyzetméteren körülbelül hárommilliárd élőlény található. Néha, ha jól figyelünk, láthatjuk, amint kis buborékláncok formájában a felszínre jön az oxigén. Kétmillió év alatt ezek miatt az apró buborékok miatt a Föld légkörének oxigéntartalma 20% lett, és ezzel megnyílt az út az élet következő, bonyolultabb fejezete számára.

Lehet, hogy a Shark Bay-i cianobaktériumok a Föld leglassabban fejlődő élőlényei, és biztos, hogy ma már a légritkábbak közé tartoznak. Előkészítették az utat az összetettebb életformák számára, majd azok felfalták őket. (Shark Bayben azért maradhattak meg, mert ott a víz túl sós azoknak az élőlényeknek, amelyek cianobaktériumokkal táplálkoznak.)

A bonyolultabb életformák megjelenése részben azért késett ilyen sokáig, mert ki kellett várni, amíg az egyszerűbb élőlények elég oxigént termelnek. „Az állatoknak nem lett volna elég energiájuk az élethez", hogy ismét Forteyt idézzük. A légkör oxigénszintje körülbelül kétmilliárd év, tehát a Föld történetének mintegy 40%-a alatt érte el nagyjából a mai szintet. De amikor ez bekövetkezett, hirtelen egészen másféle sejtek jöttek létre: olyanok, amelyeknek már sejtmagja és sejtszervecskéi voltak (más szóval *organellek*, ami a görög *kis eszköz* jelentésű szóból származik). A folyamat valószínűleg akkor kezdődött, amikor egy hebehurgya vagy kalandvágyó baktérium elfogott egy másikat (vagy a másik őt), és kiderült, hogy a helyzet mindkettőjüknek megfelel. Az elfogott baktérium lett a mitokondrium. Ez a mitokondriális bekebelezés (vagy más szóval: endoszimbiotikus esemény) tette lehetővé a többsejtű állatok kialakulását. (A növények esetében hasonló bekebelezés eredményeképpen jöttek létre a kloroplasztiszok, amelyek lehetővé teszik a fotoszintézist.)

A mitokondriumok az oxigén segítségével energiát nyernek a táplálékból. E nélkül a szellemes trükk nélkül a földi élet még mindig csak a mikrobákra korlátozódna. A mitokondriumok nagyon kicsik – egy homokszemcsébe milliárdnyi is beleférne –, ugyanakkor nagyon éhesek. Majdnem minden táplálék, amit magunkhoz veszünk, keresztülmegy rajtuk. Két percig sem élnénk nélkülük, a mitokondriumok mégis, kétmilliárd év után is úgy viselkednek, mintha semmi közünk sem lenne egymáshoz. Saját DNS-ük, RNS-ük és riboszómáik vannak. Máskor szaporodnak, mint az őket befogadó sejtek. Úgy néznek ki és úgy osztódnak, mint a baktériumok, sőt néha úgy hatnak rájuk az antibiotikumok is, mint a baktériumokra. De még csak nem is azon a genetikai nyelven beszélnek, mint a sejt, amelyben élnek. Olyan, mintha a házunkban egy mindig útra kész idegen lenne, aki azonban már évmilliárdok óta velünk lakik.

Az új sejttípus neve: eukarióta (jelentése: valódi sejtmagvas), a régi egysejtűeket pedig prokariótáknak nevezik (jelentése: előmagvas), és a fosszíliák tanúsága szerint hirtelen jelentek meg. A ma ismert legrégebbi eukarióta a *Grypania*, amelyet Michigan államban, vasas üledékben találtak 1992-ben. Csak egy ilyen őskövületet találtak, és a következő legrégebbi ennél ötszázmillió évvel újabb.

A Föld tehát megtette az első lépést, hogy valóban érdekes bolygóvá váljon. Az eukariótákhoz képest a prokarióták igazából csak vegyületcsomagok voltak, hogy Stephen Drury angol geológus kifejezését használjam. Az eukarióták nagyobbak – akár tízezerszer is nagyobbak –, mint egyszerűbb rokonaik, és akár ezerszer annyi DNS-t is hordozhatnak. Az ilyen áttöréseknek köszönhetően az élet egyre összetettebb lett, és kétféle élőlény alakult ki: az oxigént kibocsátók (mint a növények), és az oxigént

magukhoz vevők (mint az olvasó és én).

Az egysejtű eukariótákat régebben protozoáknak, vagyis előállatoknak vagy véglényeknek nevezték, de ma már inkább az *egysejtű* vagy *protista* kifejezés használatos. Az új egysejtűek a baktériumokhoz képest csodálatosan bonyolultak és kifinomultak voltak. Az egyszerű amőba, amely egyetlen sejtből áll, és megelégszik a puszta létezéssel, négyszázmillió genetikai információdarabkát hordoz DNS-ében – Carl Sagan szerint ez nyolcvan ötszáz oldalas kötetet töltene meg.

Végül az eukarióták megtanultak egy még különlegesebb trükköt. Hosszú időbe – vagy egymilliárd évbe – telt, de nagyon hasznosnak bizonyult. Megtanultak összetett, többsejtű lényként együtt élni. Ennek az újításnak köszönhető, hogy ma olyan nagy, bonyolult, látható élőlények lehetnek, amilyenek mi is vagyunk. A Föld bolygó készen állt a következő nagy változásra.

De mielőtt nagyon elragadtatnánk magunkat, ne feledjük, hogy a világ, ahová most fogunk látogatni, még mindig a nagyon kicsi világa.

20.
KICSI VILÁG

Nem túl jó ötlet nagyon mélyen belemerülni saját mikrobáink világába. Louis Pasteur, a nagy francia vegyész és bakteriológus annyira megszokta, hogy ezeket vizsgálja, hogy minden elé tett fogást nagyítóval nézett meg, mielőtt hozzákezdett volna – valószínűleg nem sok vacsorameghívást kapott.

Baktériumaink elől nem tudnánk elrejtőzni, hiszen mindig rajtunk és bennünk vannak, méghozzá elképesztő számban. Ha valaki egészséges, tisztálkodási szokásai pedig átlagosak, akkor körülbelül egybillió[68] baktérium legelészik rajta, százezer minden négyzetcentiméternyi bőrfelületen. Megélnek a naponta ledobott körülbelül tízmilliárd bőrdarabkánkból, valamint a pórusainkból és testnyílásainkból távozó ízletes olajokból és ásványi anyagokból. Mi vagyunk számukra a legjobb svédasztal, ami ráadásul még meleg és mozog is. És mit kapunk tőlük cserébe? A testszagot.

És ezek még csak a bőrünkön élő baktériumok. További billiók élnek beleinkben, orrnyílásunkban, hajunkon és szempillánkon, úszkálnak a szemgolyónkon, és kitartón próbálják kilyukasztani a fogzománcunkat. Csak az emésztőrendszerünkben legalább négyszáz fajta, több mint száztrillió[69] mikroba él. Egyesek a cukrokkal foglalkoznak, mások a keményítőkkel, megint mások küzdenek más baktériumok ellen. Meglepően sok olyan is van, mint a mindenütt jelen levő bélspirochaeta, amelynek nem ismerjük a feladatát. Ezek egyszerűen csak kedvelik a társaságunkat. Minden emberi test körülbelül tízbilliárd[70](1016) sejtből áll, és még százbilliárd(10^{17}) baktérium lakik benne. Ha a baktériumok szempontjából nézzük, mi csak egy kis része vagyunk hatalmas településüknek.

Mivel mi, emberek elég nagyok és okosak vagyunk ahhoz, hogy antibiotikumokat és fertőtlenítőszereket gyártsunk és használjunk, könnyen azt hihetjük, hogy a baktériumokat már teljesen legyőztük. Ez tévedés. Lehet, hogy a baktériumok nem építenek városokat, és valószínűleg társasági életük sem túl színes, de ők itt lesznek még akkor is, amikor a Nap felrobban. Ez az ő bolygójuk, és mi csak azért lehetünk itt, mert ők megengedik nekünk.

Soha ne feledjük, hogy a baktériumok évmilliárdokig jól elvoltak nélkülünk. Mi viszont egy napig sem bírnánk nélkülük. Szemetünket feldolgozzák és újrahasznosíthatóvá teszik; szorgalmas majszolgatásuk nélkül semmi nem rothadna el. Vizeinket tisztítják, földünket termékennyé teszik. Vitaminokat állítanak elő a belekben, a magunkhoz vett táplálékot hasznos cukrokká és poliszacharidokká alakítják, és hadrendbe állnak a szájunkon át bekerült idegen mikrobák ellen.

A baktériumok veszik fel a levegőben lévő nitrogént, és hasznos nukleotidokat és aminosavakat készítenek belőle. Ez bámulatos és hasznos tett. Margulis és Sagan megjegyzése szerint, ha ugyanezt iparilag szeretnénk elvégezni (mint például műtrágyagyártáskor), az alapanyagokat 500 °C-ra kellene hevíteni, és a szokásos nyomás 300-szorosát kellene alkalmazni. A baktériumok elvégzik ugyanezt különösebb felhajtás nélkül, a nagyobb élőlények óriási szerencséjére, hiszen azok működéséhez a nitrogén elengedhetetlen. A mikrobáktól kapjuk a levegőt is: miattuk állandó a légkör. A bolygó belélegezhető oxigénjének legnagyobb részét a mikrobák és a cianobaktériumok mai változatai termelik. A moszatok és a tengerben bugyborékoló egyéb apró lények évente mintegy 150 milliárd kilogramm oxigént állítanak elő.

E mellett csodálatosan szaporák. A leggyorsabbakból akár tíz perc alatt új nemzedék keletkezhet; a *Clostridium perfringens*, más néven gáz-gangréna baktérium, egy kellemetlen, üszkösödést okozó kis

élőlény kilenc perc alatt osztódik, majd azonnal újabb osztódásba kezd. Ilyen szaporodási ütemnél egyetlen baktériumból két nap alatt több lenne, mint ahány proton a világegyetemben van. „Ha lenne elég tápanyag, egy baktériumsejtből 280 000 milliárd egyed fejlődhetne ki egyetlen nap alatt”, mondja Christian de Duve belga Nobel-díjas biokémikus. Ugyanennyi idő alatt az emberi sejtek egy osztódásra képesek.

Minden egymillió osztódás közül egyben mutáns jön létre. A mutánsok általában nem életképesek – az élőlények megváltoztatása mindig kockázatos –, de egyszer-egyszer az új baktérium előnyösebb tulajdonságú lesz, mint elődje, például könnyebben térhet ki egy antibiotikum támadása elől. Ezzel a gyors fejlődési képességgel együtt jár egy másik, még ijesztőbb előny. A baktériumok információkat adnak át egymásnak. Bármelyik baktérium genetikai kódrészleteket vehet át bármelyik másiktól. Margulis és Sagan ezt úgy fogalmazták meg, hogy minden baktérium ugyanabban a génmedencében lubickol. Ha valamelyik baktérium megtanul jobban alkalmazkodni egy bizonyos feltételhez, akkor a változat elterjed. Olyan ez, mintha egy ember elkérhetné egy rovar megfelelő genetikai kódját, és ennek segítségével szárnyakat növeszthetne vagy a mennyezeten sétálhatna. Azt jelenti, hogy genetikai szempontból a baktériumok egyetlen szuperorganizmust képeznek, ami annyira szét van szórva, hogy számunkra láthatatlan.

Megélnek bármiből, amit véletlenül kilöttyintünk, lecseppentünk vagy leejtünk. Csak egy kis nedvesség kell, nem több, mint amennyire benedvesítjük a konyhapultot, amikor letöröljük, és ott teremnek, mintegy a semmiből. Megeszik a fát, a tapétaragasztót, a megkeményedett festékben lévő fémet. Ausztrál tudósok fedezték fel a *Thiobacillus concretivorans* nevű mikrobát, ami olyan tömény sósavban él – sőt nélküle nem is tud meglenni –, amelyben a fémek is feloldódnának. Egy *Micrococcus radiophilus*nak elnevezett faj boldogan éldegél az atomreaktorok hulladéktartályaiban, és plutóniumot eszik, meg még amit ott talál. Van olyan baktérium, ami vegyületeket bont le olyan más anyagokká, amelyekből, amennyire tudjuk, semmi haszna nincs.

Mikrobák élnek a marószóda tartalmú forró iszapgödrökben és tavakban, az antarktiszi McMurdo szárazvölgyek eldugott, befagyott tavaiban és a Csendes-óceán felszíne alatt 11 kilométerrel, ahol a nyomás több mint ezerszerese a felszíninek, vagyis akkora, mintha ötven sugárhajtású repülőgép nyomná az ember (a mikroba) vállát. Vannak látszólag elpusztíthatatlan mikrobák. A *Deinococcus radiodurans* a *The Economist* szerint „majdnem immúnis a radioaktivitással szemben”. Ha DNS-ét sugárzásnak tesszük ki, az darabokra hullik, de rögtön visszarendeződik „mint egy élőhalott levágott végtagjai egy horrorfilmben”.

A legrendkívülibb felismerés azonban az volt, amikor egy *Streptococcus* baktériumot találtak egy fényképezőgép lencséjében, amely két éven keresztül a Holdon állt. Nem sok olyan környezet van tehát, amelyre a baktériumok ne lennének felkészülve.

– Szondákat eresztenek az óceáni forró kürtőkbe, és azok ott majdnem megolvadnak, de élő baktériumokat hoznak fel – mesélte Victoria Bennett.

Az 1920-as években a Chicagói Egyetem két munkatársa, Edson Bastin és Frank Greer bejelentette, hogy egy olajkútban 600 méter mélyen élő baktériumtörzseket különítettek el. Először mindenki azt hitte, ez lehetetlen – mivel is lehetne 600 méter mélyen táplálkozni? –, és a következő ötven évben nem is foglalkoztak a felfedezéssel, mondván, hogy a mintákat valószínűleg szennyeződés érhette a felszínen. Ma már tudjuk, hogy léteznek mélységi mikrobák, csak éppen ezeknek általában semmi közük az általunk élővilágnak nevezett rendszerhez. A mélységi mikrobák követ esznek, vagyis azt, amit a kőben találnak: vasat, ként, mangánt, és így tovább. És különös dolgokat lélegeznek be: vasat, kró-

mot, kobaltot, még urániumot is. Lehet, hogy ezt az ismeretet fel lehetne használni arany-, réz- és más értékes fémlelőhelyek kereséséhez, sőt, esetleg olajat és földgázt is lehetne találni a segítségükkel. Még az is lehetséges, hogy e mikrobák fáradhatatlan rágcsálásának eredménye a földkéreg. Egyes tudósok ma úgy vélik, hogy körülbelül 100 billió tonnányi baktérium él a lábunk alatt a felszín alatti kőzetek szénsavat asszimiláló mikroba-ökoszisztémáiban (subsurface lithoautotrophic microbial ecosystem, rövidítve SLiME). Thomas Gold, a Cornell Egyetem munkatársa becslése szerint, ha kivennénk az összes baktériumot a Föld belsejéből, és a felszínre halmoznánk, 15 méterig, tehát egy négyemeletes ház magasságáig befednék azt. Ha ez igaz, akkor több élet van a föld alatt, mint fölötte.

Minél mélyebben él egy mikroba, annál kisebb és annál lassabban működik. Lehet, hogy évszázadonként csak egyszer osztódik, lehet, hogy csak ötszáz évenként. Az *Economist* cikke szerint „Úgy látszik, a hosszú élet titka a tétlenség." Amikor az életkörülmények rosszabbak lesznek, a baktériumok felfüggesztik minden tevékenységüket, és kivárják a jobb időket. 1997-ben a tudósoknak sikerült életre kelteni egy norvégiai múzeumban nyolcvan éve pihenő lépfene-baktériumot. De arra is volt már példa, hogy egy 118 éve lezárt konzervdobozból, illetve 166 éve palackozott sörből keltek életre mikroorganizmusok. 1996-ban az Orosz Tudományos Akadémia kutatói baktériumokat élesztettek újra Szibéria örökké (de legalább hárommillió éve) fagyott talajából.

A rekordot a pennsylvaniai West Chester Egyetem kutatói, Russell Vreeland és munkatársai tartják 2000 óta, amikor feltámasztottak egy *Bacillus permians* nevű, 250 millió éves baktériumot a New Mexicó-i Carlsbad 600 méterrel a föld alatt lévő sórétegeiben. Ha ez igaz, akkor ez az újraélesztett bacilus öregebb, mint bármelyik földrész.

Ezeket a bejelentéseket, érthető módon, általában kétkedve fogadják. Több biokémikusnak is az a véleménye, hogy ilyen hosszú idő alatt a mikroba alkotórészei használhatatlanná válnának, hacsak időnként magához nem térne. De ha néha felelevenedne is, nincsen olyan belső energiaforrása, amely eddig kitartana. A kételkedésre hajlamosabb tudósok felvetették, hogy a mintákba esetleg máshonnan kerültek be mikrobák, vagy a mintavétel során, vagy miközben a minták még a mélyben voltak. 2001-ben a Tel-avivi Egyetem kutatócsoportja azt állította, hogy a *Bacillus permians* majdnem megegyezik egy mai baktériumtörzzsel, a Holt-tengerben élő *Bacillus marismortui*vel. Genetikai láncuk csak két helyen különbözik egy kicsit.

Az izraeli kutatók beszámolójából idézünk: „Elhiggyük, hogy 250 millió év alatt a Bacillus permians mindössze annyi genetikai változáson megy át, amennyit laboratóriumban 3-7 nap alatt el lehet érni?" Vreeland erre azt válaszolta, hogy „a baktériumok gyorsabban fejlődnek a laboratóriumban, mint a természetben".

Lehetséges.

Furcsa, hogy a tankönyvek még az űrhajózás korában is két részre osztották az élővilágot: növényekre és állatokra. A mikroorganizmusokról alig esett szó. Az amőbákat és hasonlókat elő állatokként, a moszatokat elő növényekként kezelték. A baktériumokat is a növényekhez sorolták, pedig mindenki tudta, hogy nem oda tartoznak. Ernst Haeckel német természettudós már a XIX. század végén is azt mondta, hogy a baktériumok külön országot érdemelnek, még nevet is adott neki: *Monera*. A biológusok körében azonban egészen az 1960-as évekig nem gyökerezett meg a gondolat, és még akkor is csak lassan. (Az egyébként teljesen megbízható, *American Heritage* asztali értelmező szótáramban sem szerepel a kifejezés.)

A látható világban is több élőlény van, amely nem fér be a két hagyományos csoportba. A gombák (kalapos gombák, penészgombák, peronoszpóra, élesztő, pöfeteggombák és sok más csoport) hagyo-

mányosan a botanika tárgyát képezték, pedig szinte semmi nem köti őket a növények világához; máshogyan szaporodnak, lélegeznek, fejlődnek. Szerkezetük inkább hasonlít az állatokéra, mivel sejtfalukat kitin szilárdítja. Ugyanebből az anyagból van a rovarok pajzsa és az emlősök karma, bár nem állíthatjuk, hogy egy szarvasbogár ugyanolyan ízletes lenne, mint egy szarvasgomba. És ami a legfontosabb, a gombák nem folytatnak fotoszintézist, márpedig ez a növények egyik legjellegzetesebb tulajdonsága; a gombákban tehát nincsen zöld színtest. Táplálkozásukat egyszerűbben oldják meg: ránőnek az élelemre, ami szinte bármi lehet. A gombák lelegelhetik a ként egy betonfalról, vagy a lábujjunk között pusztuló bőrt – egy növény nem tenne ilyet. A gombák szinte csak egyetlen növényszerű tulajdonsággal rendelkeznek: van gyökerük.

Még kevésbé lehetett eldönteni, hogy vajon melyik csoportba tartozik egy régebben *myxomycetén*ek, de leginkább nyálkagombának nevezett törzs. A név körüli bizonytalanságot valószínűleg az élőlény ritkasága okozza. Ha egy kicsit lendületesebb nevet kap, például: „járóképes önaktiváló protoplazma”, és nem valami olyat, amit mondjuk egy eldugult lefolyóból halászunk ki, ezekre a különleges élőlényekre biztosan jobban felhívta volna a figyelmet, mivel a nyálkagomba igenis az egyik legérdekesebb élőlény. Amikor a körülmények kedvezők, egysejtűként élnek, mint az amőbák. Amikor viszont rosszabb idők járnak, összegyűlnek, és mintha csoda történne, meztelencsiga lesz belőlük. Ez nem a világ legszebb élőlénye, és nem is hódítja meg azt, legfeljebb egy levélkupacot, de sok millió éven át lehet, hogy ez volt a világegyetem legszellemesebb trükkje.

És ezzel még nincs vége. Ha a meztelencsiga jó helyre kerül, újra átalakul, ezúttal egy növényszerű élőlénnyé. Egy furcsa, rendezett folyamat során sejtjei új formában állnak össze, mint egy kis hadsereg, és egy szárat képeznek, amelyen egy hagyma alakú kidudorodás képződik, a spóratartó tok. Ebben több millió spóra van, amelyek a megfelelő pillanatban kiszabadulnak, és a szél elfújja őket, hogy egysejtűként új életet kezdjenek, és a folyamat újraindulhasson.

A nyálkagombákat évekig protozoának tartották a zoológusok, és gombának a mikológusok, bár egyre többen jöttek rá, hogy valójában egyik csoporthoz sem tartozik. Amikor már genetikai vizsgálatokat lehetett végezni, a tudósok csodálkozva vették észre, hogy a nyálkagombák olyan különlegesek, hogy a természet egyik élőlényéhez sem hasonlíthatók, de néha még egymáshoz sem.

1969-ben, amikor a Cornell Egyetem egyik ökológusa, R. H. Whittaker megkísérelt rendet teremteni az egyre bonyolódó osztályozásban, a *Science magazin*ban megjelent cikkében azt javasolta, hogy az élőlényeket öt fő ágra – országra – kellene osztani: állatok (Animalia), növények (Plantae), gombák (Fungi), egysejtű eukarióták (Protista) és prokarióták (Monera). A Protista a régebbi Protista kifejezés helyett szerepel, amelyet egy évszázaddal korábban talált ki John Hogg skót biológus minden olyan élőlényre, amely sem növény, sem állat.

Bár Whittaker új rendszere nagy újítás a korábbihoz képest, a Protista meghatározása még mindig nem tökéletes. Egyes taxonómusok (rendszertannal foglalkozó tudósok) meghagynák a nagy, egy sejtből álló élőlények (az eukarióták) jelölésére, mások viszont ezt tekintik a sehova máshova be nem sorolható élőlények gyűjtőhelyének. Ide tartoznak egyeseknél a nyálkagombák, az amőbák, néha a tengeri moszatok is, és még sok minden más. Egy számítás szerint akár kétszázezer különböző fajt is ide lehetne gyömöszölni.

Ironikus, hogy amint Whittaker ötországos rendszere elfogadottá kezdett válni, az Illinoisi Egyetem egy szerény tudósa már éppen egy mindent megváltoztató felfedezés küszöbén állt. Carl Woese az 1960-as évek közepe – gyakorlatilag a tudományág kezdetei – óta a baktériumok genetikai elemeinek sorrendjét tanulmányozta. Akkoriban ez rendkívül sok fáradsággal járt. Egyetlen baktérium feltérké-

pezése akár egy évig is eltarthatott. Woese szerint akkor még csak körülbelül ötszáz baktérium-fajt ismertek, ami kevesebb, mint ahányféle baktérium csak az emberi szájban él. Ma körülbelül tízszer ennyit ismerünk, bár ez még mindig sokkal kisebb érték, mint a moszatfajok száma (26 000), a gombáké (70 000) vagy az amőbáké és hasonlóké (30 800).

A szám nem azért ilyen kicsi, mert a biológusokat nem érdeklik a baktériumok. A baktériumokat borzasztóan nehéz elkülöníteni és tanulmányozni. Tenyészetben csak mintegy 1%-uk gyarapodik. Ha arra gondolunk, hogy a természetben milyen alkalmazkodóképesek, elég furcsa, hogy éppen a Petri-csészét nem tudják megszokni. Táptalajra tesszük őket, kiváló körülményeket teremtünk számukra, és ők csak heverésznek, nem hajlandók kivirulni. A laboratóriumokban csak néhány kivételes baktérium érzi jól magát, tehát a mikrobiológusok ezeket tudják tanulmányozni. Olyan ez, mintha az állatvilágot az állatkerti példányok alapján akarnánk megismerni.

A genetika fejlődésével Woese a mikroorganizmusokat új szögből közelíthette meg. Munkája során ráébredt, hogy a mikrobák világában sokkal alapvetőbb különbségek vannak, mint amiről eddig tudtak. Sok kis baktérium kinézetű és viselkedésű élőlényről kiderült, hogy egészen mások – amelyek fejlődése már régóta elvált a baktériumokétól. Woese ezeket ős- vagy archeabaktériumnak, röviden archeának nevezte el.

Meg kell mondanunk, hogy a baktériumok és az archeák közötti különbségek legfeljebb egy biológus számára izgalmasak. A legnagyobb különbség abban áll, hogy másmilyenek a lipidjeik, és az archeákban nincsen egy peptidoglikán nevű anyag. Működésük azonban nagyon is eltérő. Az ősbaktériumok jobban különböznek a baktériumoktól, mint az ember a ráktól vagy a póktól. Woese egyedül fedezte fel az élőlények felosztásának új módját, amely olyan alapvető, hogy az országok szintje felett áll az élőlények rendszerének csúcsán.

1976-ban azzal lepte meg a világot – vagy legalábbis azt a kis részét, amelyet a téma érdekelt –, hogy az élőlények rendszerét nem öt, hanem huszonhárom fő részre osztotta. Ezek három fő kategóriába sorolhatók: a baktériumok, az ősbaktériumok és az eukarióták; ezeket ő tartományoknak nevezte. Az új rendszertani egységek csoportosítása a következő:

– **Baktériumok**: cianobaktériumok, bíbor baktériumok (Rhodospirilli-neae), Gram-pozitív baktériumok, zöld nem kénes baktériumok (Chloroflexaceae), flavobaktériumok és thermotogalék;
– **Ősbaktériumok**: halofil ősbaktériumok, methanosarcina, methano-bacterium, mechanococcus, thermoceler, thermoproteus és pyrodictium;
– **Eukarióták**: diplomadok, mikrospórások, trichomonasok, ostorosok, entamőba, nyálkagombák, csillósok, növények, gombák és állatok.

Woese új felosztása nem kavarta fel a biológusok világát. Egyesek azért vetették el a rendszert, mert az túlságosan előnyben részesíti a mikrobákat. Mások egyszerűen nem foglalkoztak vele. Frances Ashcroft szerint Woese „keserűen csalódott”. A mikrobiológusok később lassanként kezdték elfogadni az új szemléletet, a botanikusoknak és zoológusoknak azonban ez nem ment ilyen könnyedén, ami nem csoda. Woese modelljében az állat- és növénytan az eukarióta ág két külső nyúlványa. Minden más helyet az egysejtűek foglalnak el.

– Úgy tanítottak minket, hogy nagy alaktani hasonlóságokat és különbségeket keressünk – mondta Woese egy 1996-ban felvett beszélgetés során. – Nehéz átállni arra, hogy inkább molekulasorozatokat vizsgáljunk.

Magyarán szólva Woese azt állítja, hogy sok biológus csak azt szereti, amit a saját szemével lát, és ezért ragaszkodnak a hagyományos, ötországos felosztáshoz. Ez viszont „nem túl hasznos”, ahogyan Woese azt visszafogottabb pillanataiban minősíti, illetve „teljesen félrevezető”, ahogyan azt máskor állítja. Woese ezeket írta: „A biológia olyan, mint a fizika: elért arra a szintre, ahol az érdekes dolgokat és kölcsönhatásaikat gyakran nem lehet közvetlenül, megfigyelés útján tapasztalni.”

1998-ban Ernst Mayr, a nagy harvardi zoológus (aki akkor kilencvennégy éves volt, ebben a pillanatban pedig közelít a százhoz, és még mindig nagyon jól tartja magát[71]), tovább bonyolította a helyzetet. Kijelentette, hogy az életet csak két részre – az ő kifejezésével: birodalomra – kellene osztani. A *Proceedings of the National Academy of Sciences*ben megjelent cikkében Mayr Woese eredményeit érdekesnek, de teljesen szerencsétlennek minősíti, megjegyezve, hogy „Woese nem biológus, és ezért természetes, hogy az osztályozás alapelveit nem nagyon ismeri”. Ennél az állításnál erősebben egy tudós már nem fogalmazhat; mégsem mondhatja, hogy egy másik tudósnak fogalma sincsen arról, amiről beszél...

Mayr kifogásainak megértéséhez túlságosan bele kellene mennünk a részletekbe. Szót kéne ejtenünk a meiótikus szexualitásról, a Hennig-féle filogenetikai rendszerezésről és a *Methanobacterium thermo-autrophicum* genomjának eltérő értelmezéseiről, és még sok minden másról. A dolog lényege az, hogy Woese rendszere nem kiegyensúlyozott. Összesen néhány ezer baktériumfaj van, az archeák közül pedig összesen 175 egyedet neveztek meg, bár lehet, hogy még lehet pár ezret találni, „de ennél biztosan nem többet”. Eukarióta faj viszont (bonyolultabb felépítésű, sejtmagvas lények, mint például mi) több millió van. Az „egyensúly kedvéért” Mayr azt javasolja, hogy az egyszerű, baktérium típusú élőlények kerüljenek egy kategóriába (prokarióták), a többiek pedig a másik, ezzel egyenrangú birodalomba (eukarióták). Mayr szerint az egyszerű és összetett a sejtek között „húzódik az élővilág nagy elválasztó vonala”.

Woese rendszeréből azért mindenképpen láthatjuk, hogy az élet sokféle, de a legtöbb élőlény kicsi, egysejtű és ismeretlen. Természetes emberi ösztön, hogy a törzsfejlődést egy sok apró javításból álló folyamatnak tekintsük, ami soha véget nem érően halad a méret és az összetettség növelése, vagyis az ember felé. Ez azonban túlságosan szűklátókörű gondolat. A fejlődés során a nagy események a parányok világában történtek. Mi, nagy dolgok, csak egy szerencsés, véletlen fordulat vagyunk, egy érdekes oldalág. Az élet huszonhárom fő ágából csak három (növények, állatok, gombák) látható szabad szemmel, de még ezek között is vannak mikroszkopikus fajok. Woese szerint, ha összeszámolnánk a bolygó biomasszáját, tehát minden élőlényt, a mikrobák adnák az össztömeg 80%-át, de lehet, hogy még nagyobb részét. A világ a parányoké, és ez így van jól.

Feltehetnénk a kérdést: a mikrobák akkor miért betegítenek meg minket. Miért jó egy mikrobának, ha belázasodunk, megfázunk, fekélyek borítják be a testünket, vagy meghalunk? Ha a baktériumgazda beteg, ők sem élhetnek rajta örökké.

Először is, ne feledjük, hogy a legtöbb mikroorganizmus jótékony hatású, de legalábbis semleges az ember szempontjából. A Föld leginkább fertőző élőlénye egy *Wolbachia* nevű baktérium, amely egyáltalán nem bántja az embert, sőt egyetlen gerincest sem; ha viszont valaki ráknak, féregnek vagy muslicának született, megkeserítheti az életét. A *National Geographic* szerint a mikrobáknak csak mintegy ezredrésze betegíti meg az embert, bár egyes betegségekre gondolva mondhatnánk, hogy ez is túl sok. A mikrobák, még ha legnagyobbrészt ártalmatlanok is, a nyugati világ vezető halálokai között

a harmadik helyet foglalják el, és még a nem halálosak is nagyon sok kellemetlenséget okozhatnak.

A mikroba számára bizonyos előnyöket jelent, ha a gazdaszervezet megbetegszik. Az egyes betegségek tünetei például segíthetnek az adott kórokozó elterjesztésében. A hányás, tüsszentés és hasmenés kiváló lehetőség számukra, hogy az egyik élőlényből egy másikba kerüljenek. A legjobb stratégia azonban egy mozgó harmadik fél igénybevétele. A fertőző organizmusok számára nagyon alkalmasak a szúnyogok, mert szúró-szívó szájszervükkel a mikrobákat egyenesen a véráramba juttatják, ahol azok azonnal szaporodni kezdhetnek, még mielőtt az áldozat védekező rendszere észlelné, hogy beavatkozásra van szükség. Nem csoda, hogy a legfertőzőbb A osztályba sorolt betegségek – malária, sárgaláz, dengue-láz, agyvelőgyulladás és még vagy száz kevésbé ismert, de gyakran veszélyes betegség – szúnyogcsípéssel kezdődnek. Szerencse, hogy a HIV, az AIDS-betegség kórokozója nem ide tartozik – legalábbis még nem. Ha egy szúnyog HIV vírust szed fel valahol, saját anyagcseréje lebontja azt. Ha a vírus majd úgy mutálódik, hogy ezt elkerülje, nagy bajban leszünk.

Hiba lenne azonban a dolgokat csak a logika segítségével vizsgálni, hiszen a mikroorganizmusok nem éppen gondolkodó lények. Nem törődnek jobban tetteik következményével, mint az ember, amikor szappannal megmosakszik vagy dezodort használ, és ezzel sok milliójukat elpusztítja. A betegséget okozó mikroorganizmusoknak csak akkor okoz problémát az ember jóléte, ha túl hamar ölik meg, még mielőtt új baktériumgazdát találnának. Jared Diamond megjegyzése szerint a történelem során számos betegséget jegyeztek fel, ami „borzalmas járványt okozott, majd ugyanolyan titokzatosan tűnt el, ahogyan megjelent”. Mesél a pusztító, de szerencsére hamar elmúló angliai köleshimlőjárványról, ami 1485-től 1552-ig tartott, és több tízezer áldozatot szedett, mielőtt maga a kórokozó is eltűnt. Ha egy kórokozó túlságosan hatékony, az előbb-utóbb visszaüt.

Sok betegséget nem is közvetlenül a kórokozó idéz elő, hanem saját testünk, amely megpróbálja védeni magát. Az immunrendszer néha sejteket pusztít el, és létfontosságú szöveteket károsít; amit tünetnek érzünk, az gyakran nem maga a kórokozó, hanem testünk reakciója a betolakodóra. Már maga az, hogy ágynak esünk, jó taktika a fertőzéssel szemben; így ugyanis kevésbé veszélyeztetjük a körülöttünk élőket.

Mivel nagyon sok minden van a világban, ami bánthat minket, testünkben sokféle védő fehérvérsejt van, összesen több tízmillió fajta, és mindegyik alkalmas egy bizonyos kórokozó elpusztítására. Lehetetlen feladat tízmillió hadtestet egyszerre készültségben tartani, ezért mindegyik fehérvérsejttípusból egyszerre csak néhány aktív. Amikor egy kórokozó, más szóval antigén vagy ellenanyagképző a testünkbe jut, az aktív fehérvérsejtek azonosítják a támadót és megfelelő fajtájú erősítést kérnek. Amikor testünk elkezdi ezeket „gyártani”, rosszul érezhetjük magunkat. Állapotunk akkor kezd jobbra fordulni, amikor az új hadtestek csatasorba állnak, és megkezdik a támadást.

A fehérvérsejtek könyörtelenül elbánnak minden kórokozóval. A támadóknak két alapstratégiájuk van a teljes kipusztulás ellen. Vagy gyorsan támadnak, és utána gyorsan új baktériumgazdát keresnek, mint például az influenza esetében, vagy álcázzák magukat, hogy a fehérvérsejtek ne ismerjék fel őket, mint a HIV, az AIDS vírusa, amely ártatlanul és észrevétlenül meghúzódik a sejtmagokban, mielőtt akcióba lépne.

A fertőzés egyik furcsább tulajdonsága, hogy az általában ártalmatlan mikrobák néha a test más részeibe kerülve „megbolondulnak” (dr. Bryan Marsh, a New Hampshire-i Lebanonban lévő Dartmouth-Hitchcock Orvosi Központ fertőzőbetegség-specialistájának kifejezése). „Autóbalesetek után ez gyakran megtörténik, amikor az emberek belső sérüléseket szenvednek. Ilyenkor az eddig a bélben vagy más belső részekben tenyésző ártalmatlan mikrobák a test más részeibe kerülhetnek, például a

véráramba, és szörnyű pusztítást végeznek." Ebben a pillanatban egy nekrotizáló fasciitis nevű betegség a legijesztőbb és leggyógyíthatatlanabb kór, amelynek során a baktériumok gyakorlatilag belülről kifelé haladva felfalják áldozatukat, és csak pépes, mérgező maradványokat hagynak maguk után. A betegek gyakran viszonylag enyhe panaszokkal – például kiütéssel vagy lázzal – jelentkeznek az orvosnál, de hamarosan drámai módon leépülnek. Sebészeti beavatkozással kiderül, hogy belső szerveik rohamosan pusztulnak. Ilyenkor csak a radikális műtéti eltávolítás segíthet, tehát az, ha minden fertőzött területet kivágnak. A betegek hetven százaléka meghal, a túlélők pedig rettenetesen meg vannak csonkítva. A fertőzés forrása a közönséges Streptococcus A, amely általában nem okoz nagyobb bajt egy-egy torokfájásnál. Nagyon ritkán azonban megtörténik, hogy a baktériumok egy része ismeretlen okból átjut a torok nyálkahártyáján, és a test belsejében iszonyú rombolást végez. Teljesen ellenállók az antibiotikumokkal szemben. Az Egyesült Államokban évente körülbelül ezer ilyen eset fordul elő, és senki nem tudja, a helyzet mikor fordul rosszabbra.

Ugyanez a helyzet az agyhártyagyulladással. A fiatal felnőttek legalább 10%-a, a tizéneveseknek pedig körülbelül 30%-a hordozza a halálos *Meningococcus* baktériumot a torkában, de az ott semmi bajt nem okoz. Néha – minden százezer fiatal közül egyben – bekerül a véráramba, és a baktériumgazda hirtelen nagyon beteg lesz. Legrosszabb esetben akár tizenkét órán belül, tehát megdöbbentően gyorsan bekövetkezhet a halál.

– Előfordulhat, hogy valaki a reggelinél még teljesen egészséges, estére pedig meghal – mondta Marsh.

Jobban el tudnánk bánni a baktériumokkal, ha nem tékozolnánk el a legjobb fegyverünket: az antibiotikumokat. Egy becslés szerint a fejlett világban az antibiotikumok 70%-át a tenyésztett állatok kapják, gyakran megelőzésképpen, a takarmánnyal együtt, hogy jobban növekedjenek, és kivédjék a fertőzéseket. Ha ilyen sok antibiotikumot alkalmazunk, a baktériumoknak kiváló lehetősége nyílik, hogy ellenállóvá váljanak. És ők élnek is ezzel a lehetőséggel.

1952-ben a penicillin tökéletesen hatékony volt minden Staphylo-coccus baktériumtörzs ellen, olyannyira, hogy az 1960-as évek elején William Stewart, az Egyesült Államok hadserege egészségügyi alakulatainak főparancsnoka biztonsággal kijelenthette:

– Elérkezett az idő, hogy lezárjuk a történelemben a fertőző betegségek fejezetét. Az Egyesült Államokban gyakorlatilag minden fertőzést megszüntettünk.

Beszéde közben a baktériumtörzsek 90%-a azon dolgozott, hogyan válhatnának immúnissá a penicillinnel szemben. A kórházakban hamarosan megjelent egy új törzs, a methicillin-rezisztens *Staphylococcus aureus*. Ez ellen csak egyféle antibiotikum hatásos, a vanomicin, de 1997-ben egy tokiói kórházban feltűnt egy még újabb törzs, amely már ennek is ellenáll. A kórokozó hónapokon belül eljutott hat másik japán kórházba is. A mikrobák ismét nyerésre állnak a háborúban: csak az amerikai kórházakban évente tizennégyezer ember hal bele olyan fertőzésekbe, amelyeket ott kaptak el. James Surowiecki azt írta egy, a *New Yorker*ben megjelent cikkében, hogy ha egy gyógyszergyárnak választania kell egy új antibiotikum kifejlesztése között, amit az emberek legfeljebb két hétig szednek, vagy egy új antidepresszáns között, amit esetleg egész életükben, biztos, hogy az utóbbit választják. Bár egyes antibiotikumokat kissé feljavítottak, az 1970-es évek óta nincsen gyökeresen új antibiotikumunk.

Nemtörődömségünk azért is ijesztő, mert időközben sok újabb betegségről kiderült, hogy bakteriális eredetű. A felfedezések sora 1983-ban kezdődött, amikor Barry Marshall ausztrál orvos rájött, hogy sok gyomorrák és szinte minden gyomorfekély oka egy *Helicobacter pylori* nevű baktérium. Bár

feltevése könnyen bizonyítható volt, mégis egy évtized kellett az új gondolat elfogadásához. Az Egyesült Államok Egészségügyi Hivatala például csak 1994-ben vett róla tudomást. 1999-ben Marshall így nyilatkozott a Forbes magazinnak: „Emberek százai, sőt ezrei haltak meg gyomorfekélyben, pedig segíthettünk volna rajtuk."

Azóta már sok más betegségről is kimutatták, hogy részben vagy egészen baktériumok okozzák; ilyen a szívbetegség, az asztma, az ízületi gyulladás, a sclerosis multiplex, többféle elmebetegség és rák, sőt, a Science szerint esetleg még az elhízás is. Lehet, hogy hamarosan égető szükségünk lenne hatékony antibiotikumokra, és nem lesz miből választanunk.

Szolgáljon vigasztalásul a tény, hogy maguk a baktériumok is megbetegedhetnek. Néha baktériumölő vírusok (bakteriofágok, egyszerűbben: fágok) támadják meg őket. A vírus különleges, barátságtalan lény; Peter Medawar Nobel-díjas biológus emlékezetes szavai szerint „egy darab nukleinsav, rossz hírekbe csomagolva". Kisebbek és egyszerűbbek, mint a baktériumok, és nem is élőlények. Megfelelő táplálék híján mozdulatlanok és ártalmatlanok, de ha jó gazdaegyedet találnak, működni kezdenek. Körülbelül ötezer vírustípust ismerünk, és ezek több száz emberi betegséget okoznak, például az influenzát, a közönséges megfázást, de a legkomolyabb betegségeket is: a himlőt, veszettséget, sárgalázat, ebolát, gyermekbénulást és az AIDS-et.

A vírusok úgy szaporodnak, hogy ráveszik az élő sejtek genetikai anyagát, hogy még több vírust hozzon létre. Nagyon gyorsan szaporodnak, és újabb sejteket keresnek, amelyet birtokba vehetnek. Mivel ők maguk nem élnek, szerkezetük nagyon egyszerű. Többeknek, mint például a HIV-nek is, tíz vagy annál is kevesebb génje van, pedig a legegyszerűbb baktériumok sem élhetnek meg több ezer nélkül. Nagyon kicsik, fénymikroszkóppal láthatatlanok. Először 1943-ban, az elektronmikroszkóp feltalálásakor pillantották meg őket. A vírusok hihetetlen kárt okozhatnak. A XX. században csak a himlő körülbelül háromszázmillió ember halálát okozta.

Idegesítő tulajdonságuk, hogy szinte a semmiből bukkannak elő új, meglepő alakban, majd ahogy jöttek, el is tűnnek. 1916-ban rengeteg európait és amerikait fertőzött meg egy furcsa betegség, az afrikai álomkór, latin nevén encephalitis lethargica. Áldozatai elaludtak, és nem ébredtek fel. Nagy nehezen fel lehetett őket ébreszteni, hogy ételt vegyenek magukhoz, vagy vécére menjenek, és ilyenkor értelmesen válaszoltak is a feltett kérdésekre – tudták, hogy kik ők, és hol vannak –, de teljesen fásultak és közönyösek voltak. Amikor újra pihenni hagyták őket, ismét mély álomba zuhantak, és így is maradtak, amíg újra fel nem ébresztették őket. Egyesek hónapokat töltöttek ilyen állapotban, mielőtt meghaltak. Kevesen élték túl; ők visszanyerték öntudatukat, de életenergiájukat nem. Mélységes eltompultságban éltek, „kihunyt tűzhányókként", az egyik orvos szavai szerint. A betegségben tíz év alatt ötmillió ember halt meg, mielőtt a vírus csendesen visszahúzódott volna. A járvány nem sok figyelmet kapott, mert közben egy még súlyosabb ragály – a történelem legsúlyosabb járványa – száguldott végig a világon.

A spanyolnátha, amelyet egyes országokban nagy sertés-influenzajárványnak neveznek, kegyetlen volt. Az első világháborúban négy év alatt 21 millió ember halt meg, a spanyolnátha ugyanezt négy hónap alatt elvégezte. A háború amerikai sérültjeinek 80%-a nem az ellenség kezétől, hanem a betegségtől szenvedett. Egyes egységekben a halálozási arány 80% volt.

A spanyolnátha szokásos, nem halálos influenzajárványként kezdődött 1918 tavaszán, de a következő hónapokban valahogyan – senki nem tudja, hogyan vagy hol – sokkal súlyosabbá mutálódott. Az áldozatok egyötödén csak enyhe tünetek mutatkoztak, de a többiek súlyosan megbetegedtek, és sokan közülük meg is haltak. Volt, akivel a betegség órák alatt végzett, mások napokig haldokoltak.

Az Egyesült Államokban az első áldozatok a bostoni tengerészek közül kerültek ki 1918 augusztusában, de a járvány gyorsan szétterjedt az egész országban. Az iskolákat és a nyilvános szórakozóhelyeket bezárták, és mindenki szájmaszkot viselt, ami azonban nem sokat segített. 1918 ősze és a következő tavasz között 548 452 amerikai halt meg influenzában. Angliában 220 000 áldozatot szedett a járvány; Franciaországban, Németországban – és Magyarországon is – hasonlóan szomorú arányt mutatott az elhalálozás. Csak becsléseink vannak arról, hogy a spanyolnátha az egész világon hány áldozatot szedett, mert a harmadik világban nem készültek megbízható feljegyzések, de a szám valahol húszmillió és ötvenmillió között lehet, bár van, aki szerint megközelíti a százmilliót.

Az egészségügyi hatóságok vakcinát akartak kifejleszteni, ezért kísérleteket végeztek egy katonai börtön erre vállalkozó elítéltjein. A kutatást túlélő foglyoknak amnesztiát ígértek. Embertelen kísérleteket végeztek rajtuk. A kísérleti alanyok szervezetébe először halottakból származó fertőzött tüdőszövetet juttattak, majd szemükbe, orrukba és szájukba fertőző anyagokat porlasztottak. Ha ettől sem betegedtek meg, torkukba a betegektől és haldoklóktól származó kenetet juttattak. Ha ez sem vezetett eredményre, nyitott szájjal kellett ülniük, és súlyos betegek az arcukba köhögtek.

A háromszáz önkéntesből az orvosok hatvankettőt választottak ki. Senki nem kapta el közülük az influenzát, egyetlen ember sem, csak a kísérletet vezető orvos, aki hamarosan meg is halt. Valószínűleg azért történt így, mert a járvány néhány héttel korábban már végigvonult a börtönön, és az önként jelentkezőknek, akik ezt túlélték, már természetes immunitásuk volt vele szemben.

Az 1918-as influenzajárványról még sok mindent nem tudunk. Az egyik nagy kérdés, hogy hogyan tört ki ilyen gyorsan, egymástól óceánokkal, hegyláncokkal és más földi akadályokkal elválasztott területeken. Egy vírus az emberi test nélkül csak néhány órán keresztül marad életben, akkor hogyan tűnhet fel egy hét alatt Madridban, Bombayben és Philadelphiában?

Valószínűleg olyanok hordozták a kórokozót, akikben az egyáltalán nem okozott tüneteket, vagy csak enyhéket. Még a szokásos influenzajárványok esetében is csak körülbelül minden tizedik ember kapja el a betegséget, de gyakran észre sem veszi, mert nincsenek tünetei. És mivel az ilyen emberek nem korlátozzák érintkezésüket másokkal, kiválóan tudják terjeszteni a betegséget.

Ez megmagyarázná az 1918-as járvány széles körű elterjedését, de azt nem, hogyan tudott hónapokon át lappangani, mielőtt többé-kevésbé ugyanabban az időben mindenütt kitört. És az még furcsább, hogy éppen az életük virágában lévő emberek kapták el. Az influenza általában a kisgyermekekre és az idősebbekre veszélyesebb, de az 1918-as járványban legtöbben a húsz és negyven év közöttiek haltak meg. Elképzelhető, hogy az idősebbek valamikor életük során már találkoztak ezzel a baktériumtörzzsel, és ezért voltak ellenállóbbak, de hogy a csecsemőket mi védte meg, azt nem tudjuk. A legkülönösebb azonban az, hogy az 1918-as spanyolnáthajárvány miért volt ilyen kegyetlenül halálos, amikor a legtöbb influenzajárvány nem ilyen. Nem tudjuk.

Néha az egyes baktériumtörzsek visszatérnek. A H1N1 nevű visszataszító orosz vírus 1933-ban nagy területekre kiterjedő járványt okozott, majd az 1950-es és az 1970-es években ismét. Hogy közben hol volt, nem tudjuk. Lehet, hogy a vírusok vadon élő állatokban tenyésznek, és ezért nincsen tudomásunk róluk, mielőtt megpróbálkoznának egy újabb embernemzedékkel. Senki nem állíthatja biztosan, hogy a spanyolnáthajárvány nem üti még egyszer fel a fejét.

Vagy ha az nem, majd egy új betegség. Gyakran bukkannak fel új, ijesztő vírusok. Az Ebola, a Lassa-láz és a marburgi betegség mind hamar fellángolt, majd ismét megszűnt, de senki nem tudja, vajon nem mutálódnak-e szépen csendben valahol, vagy esetleg egyszerűen csak várják a megfelelő pillanatot, amikor felbukkanásukkal nagy katasztrófát okozhatnak. Ma már tudjuk, hogy az AIDS régebb óta

köztünk van, mint azt korábban gondoltuk. A Manchesteri Királyi Kórház kutatói felfedezték, hogy egy 1959-ben titokzatos, gyógyíthatatlan okból meghalt tengerész valójában AIDS-es volt. A betegség mégis tétlen maradt még vagy húsz évig.

Inkább az a csoda, hogy más betegségek miért nem terjedtek tovább. A Lassa-láz, amit először 1969-ben diagnosztizáltak Nyugat-Afrikában, rendkívül heveny, de nem tudunk sokat róla. 1969-ben a Connecticut állambeli New Haven Yale Egyetemén egy fiatal orvos a betegség tanulmányozása közben megfertőződött vele. Ő túlélte, de elég ijesztő, hogy az egyik szomszédos laboratórium egyik technikusa, aki nem érintkezett közvetlenül a vizsgálati anyaggal, szintén megkapta a betegséget, és bele is halt.

A járvány szerencsére itt megállt, de nem biztos, hogy legközelebb is ilyen szerencsénk lesz. Életstílusunk kiválóan elősegíti a ragályok terjedését. A légi közlekedés segítségével a kórokozókat nagy hatékonysággal terjesztjük az egész bolygón. Lehet, hogy egy Ebola-vírus Beninben kezdi a napját, de New Yorkban, Hamburgban vagy Nairobiban fejezi be, esetleg mindhárom helyen egyszerre. Azt is jelenti, hogy a járványügyi szakértőknek gyakorlatilag minden betegséget ismerniük kellene, ami valaha valahol előfordult, de ez persze nem lehetséges.

1990-ben egy Chicagóban élő nigériai férfi Lassa-lázzal fertőződött, amikor szülőföldjén járt, de a tünetek csak akkor kezdtek kijönni rajta, amikor már visszatért az Egyesült Államokba. Egy chicagói kórházban halt meg; betegségét nem ismerték fel, és ezért semmiféle elővigyázatossági rendszabályt nem alkalmaztak vele kapcsolatban, pedig a bolygó egyik leghalálosabb és legfertőzőbb betegségét hordozta magában. Csodálatos módon senki nem fertőződött meg. De lehet, hogy legközelebb már nem lesz ilyen szerencsénk.

Ez után a nem túl lelkesítő megjegyzés után térjünk vissza a látható világba.

21.
AZ ÉLET MEGY TOVÁBB

Nem könnyű őskövületté válni. Majdnem minden élőlény – több mint 99,9%-uk – semmivé komposztálódik. Amikor meghalunk, minden molekulánkat elfogyasztja valaki, így ezek más rendszerekbe kerülnek. Ez van. De még ha véletlenül az élőlények azon kevesebb, mint 0,1 %-a közé tartozunk, amelyeket nem fogyasztanak el mások, akkor sincs túl nagy esélyünk a megkövülésre.

Ehhez ugyanis több feltételnek kell egyszerre teljesülnie. Először is, jó helyen kell meghalnunk. A kőzeteknek csak mintegy 15%-a alkalmas őskövületek képzésére, tehát nem segít, ha egy leendő gránitréteg helyén rogyunk össze. A halott élőlénynek olyan üledékbe kell kerülnie, ahol benyomatot hagy maga után, mint egy levél a sárban, vagy oxigén nélkül kell lebomlania, mert akkor csontjai és egyéb keményebb részeinek (nagyon ritkán puhább részeinek) molekulái helyébe oldott ásványi anyagok lépnek, és ezzel az eredetinek egy megkövült másolata jön létre. Utána az üledéket összenyomják, meghajlítják, és odébb tolják a Föld különféle geológiai folyamatai, és az őskövületnek ezután is valahogyan felismerhetőnek kell maradnia. Végül, de nem utolsósorban, a sok tízmillió vagy akár százmillió éves rejtőzködés után valakinek meg kell találnia, aki felismeri, hogy figyelemre méltó dolog akadt a kezébe.

Úgy tartják, egymilliárd csont közül csak egy kövül meg. Ha ez igaz, akkor az összes ma élő amerikaiból – 270 millió ember egyenként 206 csonttal – körülbelül ötven csont marad meg, vagyis egy csontváz egynegyede. Ezzel természetesen nem mondtuk, hogy az ötven csont közül akár csak egyet is meg fognak találni. Mivel több mint kilencmillió négyzetkilométeres területen kellene keresni őket, aminek csak elenyésző részét fogják valaha is felásni és még kevesebbet megvizsgálni, csoda kellene hozzá, hogy találjanak egyet. Ezért bukkan fel kevés őskövület. A Földön eddig élt lények legtöbbje után semmi nem maradt. Becslések szerint a kihalt fajok közül csak minden tízezredikből van őskövületpéldányunk. Ez meglepően rossz arány. Ha viszont elfogadjuk a feltételezést, hogy a Földön harmincmilliárd különböző faj alakult ki, és igaz Richard Leakey és Roger Lewin állítása, amelyet *The Sixth Extinction* (A hatodik kihalás) című könyvükben fogalmaznak meg, hogy eddig 250 000 faj őskövülete került az őslénytani anyagba, akkor az arány csak 1:120 000. Akármekkora is ez az arány, annyi biztos, hogy csak nagyon kevés maradt fenn a Földön élőlényei közül.

És amelyik mégis, az reménytelenül torzítja a képet. A szárazföldi állatok legnagyobb része természetesen nem üledékben pusztul el. Összerogynak valahol, és más állatok elfogyasztják őket, vagy elrothadnak. Az ősmaradványanyag ezért aránytalanul több tengeri élőlényt tartalmaz. A megtalált őskövületek majdnem 95%-a vízben, többnyire sekély tengervízben élő állatokból maradt.

Az egészet azért említem, hogy megmagyarázzam, miért mentem el egy szürke februári napon a londoni Természetrajzi Múzeumba, hogy találkozzam egy derűs, öltözködésére túl sokat nem adó, szeretetreméltó őslénykutatóval, Richard Forteyval.

Fortey rettenetesen sokat tud rettenetesen sok mindenről. Ő írta a *Life: An Unauthorised Biography* (Az élet: Egy nem hivatalos életrajz) című lényegre törő, csodálatos könyvet, amely felvonultatja az élet minden formáját. Első szerelme azonban egy tengeri ősállat volt, a háromkaréjú rák (trilobita),

amely régen, az ordovícium során benépesítette a tengereket, de már rég kihalt, viszont őskövületként megtalálható. Minden háromkaréjú ráknak három fő testtája (karéja) volt: fej, tor és farok. Fortey az elsőt még kisfiú korában találta, amikor a walesi St. David-öböl parti szikláin mászkált, és azóta sem tud betelni velük.

Felvitt egy galériára, ahol magas fémszekrények álltak. Mindegyiknek a fiókjai tele voltak megkövült háromkaréjú rákokkal, összesen húszezer darabbal.

– Talán itt kicsit soknak tűnik – mondta –, de ne feledjük, hogy az őstengerekben évmilliókon át trilobitamilliók éltek – ahhoz képest ez nem sok. És majdnem mind csak töredék. Ha egy őslénykutató egyszer teljes háromkaréjú rákot talál, azt a napot nem felejti el.

Az első háromkaréjú rákok körülbelül 540 millió éve jelentek meg, minden átmenet nélkül, a többi összetettebb élőlény hirtelen megjelenésével együtt (ezt szokták kambriumi robbanásnak nevezni), majd sok más élőlénnyel együtt eltűntek a nagy, és még mindig titokzatos perm kori kihalás során, körülbelül háromszázezer évszázaddal[72] később. Hajlamosak vagyunk őket, mint minden, azóta kihalt élőlényt kudarcnak tekinteni, pedig ők voltak az egyik legsikeresebb állatfaj. Háromszázmillió évig uralkodtak, ami éppen kétszer olyan hosszú, mint a dinoszauruszok kora, akiket szintén a történelem nagy túlélői közé számítunk. Az emberek, mint Fortey megjegyzi, eddig ennek az időnek éppen fél százalékán keresztül bírták ki.

Mivel ennyi idejük volt, a háromkaréjú rákok bámulatosan elszaporodtak. Legtöbbjük kicsi maradt, körülbelül akkora, mint ma egy bogár, de voltak közöttük tányér nagyságúak is. Legalább ötezer nemzetségük, ezeken belül hatvanezer fajuk volt, de folyamatosan találunk új leleteket. Fortey nemrég részt vett egy dél-amerikai konferencián, és ott megszólította egy kis vidéki argentin egyetem tanára.

– Hozott egy dobozt tele érdekes dolgokkal, Dél-Amerikában, sőt soha sehol még nem látott háromkaréjú rákokkal és más érdekességekkel. Viszont az egyetemének nem volt anyagi lehetősége a lelet tanulmányozására, és újabbak felkutatására. A világ nagy része még felfedezetlen.

– A trilobiták szempontjából?

– Nem, minden szempontból.

A XIX. század során a háromkaréjú rák volt szinte az egyetlen ismert többsejtű őslény, és ezért szorgalmasan gyűjtötték és tanulmányozták. Különleges tulajdonságuk, hogy hirtelen bukkannak fel. Fortey azt mesélte, hogy a mai napig nem szokta meg, hogy amikor sikerül kiválasztanunk a megfelelő kőzetet, ásni kezdünk, és haladunk szépen vissza az időben anélkül, hogy az életnek bármilyen jelét is találnánk, minden figyelmeztető jel nélkül hirtelen egy rák nagyságú *Profallotaspis* vagy *Elenellus* pottyan a tenyerünkbe. Ezeknek az élőlényeknek voltak végtagjai, kopoltyúja, idegrendszere, tapogatócsápja és „agyfélesége”, ahogy Fortey nevezte. A lehető legfurcsább azonban a szeme. Kalcitlencsékből állt, vagyis ugyanabból az anyagból, mint a mészkő; ez a legrégebbi ismert látószerv. A legelső háromkaréjú rákok ráadásul eleve több tucat fajt képeztek, és nemcsak egy-két helyen jelentek meg, hanem mindenütt egyszerre. A XIX. században számos tudós ezt Isten műveként és a darwini evolúció cáfolataként értelmezte. Ha az evolúció lassan történt, akkor hogyan jelenhettek meg hirtelen az összetett és teljesen fejlett élőlények? Erre Darwin nem is tudott válaszolni.

Úgy tűnt, a dolog ennyiben marad, de 1909-ben, Darwin *A fajok eredete* című műve megjelenésének ötvenedik évfordulója előtt alig három hónappal egy Charles Doolittle Walcott nevű őslénykutató rendkívüli leletre bukkant a Sziklás-hegység kanadai részén.

Walcott 1850-ben született, és a New York állambeli Utica közelében nőtt fel szerény anyagi lehetőségek között, amelyek még tovább szűkültek, amikor (még Charles csecsemőkorában) az apja meghalt. Walcottról hamar kiderült, hogy különös tehetsége van az őskövületek, különösen a háromkaréjú rákok megtalálásához, és olyan szép kis gyűjteményt szedett össze, hogy azt Louis Agassiz egy kisebb vagyonért megvásárolta harvardi múzeuma részére – mai pénzben kifejezve körülbelül 15-20 millió forintnak[73] megfelelő összeget adott érte. Bár Walcott még a középiskolát is csak alig fejezte be, és mindent egyedül tanult meg, amit a természettudományokról tudott, hamarosan ő lett a legnagyobb szaktekintély a háromkaréjú rákokkal kapcsolatban, ő állapította meg, hogy azok ízeltlábúak, csakúgy, mint a mai rovarok és rákok.

1879-ben Walcott terepmunkára jelentkezett az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatánál, és ott olyan kiváló munkát végzett, hogy tizenöt év múlva már ő vezette az intézményt. 1907-ben ő lett a Smithsonian Intézet titkára, és ott is maradt haláláig, 1927-ig. Bár munkaköre sok adminisztratív teendővel járt, továbbra is részt vett az ásatásokban, és rengeteget írt. Fortey szerint „Walcott könyveinek külön polc van fenntartva a könyvtárakban”. Nem mellékesen ő volt a Repüléstan Nemzeti Tanácsadó Testületének alapító igazgatója is, ez volt a NASA elődje, tehát nyugodtan nevezhetjük őt az űrkorszak nagypapájának.

Most viszont azért hoztuk őt szóba, amit Brit Kolumbiában talált Field kisváros fölött 1909 késő nyarán. A történet a legenda szerint úgy szól, hogy Walcott feleségével együtt egy hegyi úton lovagolt, amikor felesége lova megbotlott az úton heverő kőben. Walcott leszállt, hogy segítsen az asszonynak, és észrevette, hogy az állat egy palalemezben botlott meg, amelyben különlegesen régi, és ismeretlen fajtájú ízeltlábú őskövülete volt látható. Esett a hó – a tél hamar köszönt be a Szikláshegység északi részében –, ezért nem maradtak ott, de ahogy befejeződött az olvadás, Walcott visszatért az útra. Megpróbálta kitalálni, hogy a kő honnan pottyanhatott a lábuk elé, ezért több mint kétszáz métert mászott a hegycsúcs felé. Ott, a tengerszint felett 2 500 méterrel egy körülbelül háztömbnyi hosszúságú palafelbukkanást talált, ahol soha nem látott mennyiségű őskövület volt, a legrégebbiek nem sokkal azutánról származtak, amikor a többsejtűek robbanásszerűen megjelentek a kambrium során. Walcott tulajdonképpen az őslénytan „Szent Grálját” találta meg. A lelet neve Burgess-pala lett, a hágó után, ahol találták, és sokáig ez volt az „egyetlen támpont, amely alapján el tudtuk képzelni a mai bonyolult életformák kialakulását”, ahogyan azt a néhai Stephen Jay Gould írta *Wonderful Life* (Csodálatos élet) című könyvében.

Gould mindig is hajlamos volt a túlzott aggályoskodásra, és Walcott naplóinak elolvasása után úgy gondolta, a Burgess-pala megtalálásának története egy kicsit túl kerek; Walcott például nem tesz említést sem megbotló lóról, sem hóesésről. Annyi mindenesetre biztos, hogy kivételes leletet talált. Számunkra, akik csak néhány évtizedet töltünk a Földön, szinte lehetetlen felfogni, mennyi idő telt el a kambriumi robbanás óta. Ha másodpercenként egy évvel visszaforgathatnánk az idő kerekét, körülbelül fél óra alatt érnénk el Krisztus születéséhez, és három hét után az emberi élet kezdeteihez. A kambrium kor kezdetéhez viszont húsz évet kellene visszamennünk. Nagyon régen volt tehát, amikor a világ még egészen másképpen nézett ki, mint ma.

Először is, ötszázmillió éve és azelőtt, a Burgess-pala kialakulásakor, a pala nem egy hegytetőn helyezkedett el, hanem egy hegy lábánál. Egészen pontosan egy meredek szikla tövében, egy sekély óceáni medencében. Akkoriban a tenger tele volt különféle élőlényekkel, amelyek általában nem hagytak nyomot magukról, hiszen puha a testük, és életük befejeztével lebomlanak. A jelenlegi Burgess-hágó helyén azonban leomlott a szikla, és az ott élő állatokat foglyul ejtette a sárlavina, majd lepréselődtek,

mint a virágok, és formájuk csodálatos részletességgel kivehető.

Walcott 1910 és 1925 között (tehát hetvenöt éves koráig) minden nyáron odautazott, és több tízezer példányt kiásatott (Gould szerint nyolcvanezret; a *National Geographic* általában megcáfolhatatlan szakértői szerint hatvanezret), és ezeket Washingtonba szállíttatta, hogy ott tovább tanulmányozza őket. A gyűjtemény tömegében és változatosságában is egyedülálló. A burgess-i lelet egyes őskövületein kagylóhéjak láthatók, másokon nem. Néhány lénynek volt látószerve, másoknak nem. Összesen körülbelül száznegyvenféle fajt találtak. Gould szerint „a Burgess-pala anatómiailag változatosabb volt, mint bármelyik másik lelőhely; a világ óceánjainak mai lakói sem ilyen sokfélék".

Gould szerint Walcott sajnos nem értette meg leletének jelentőségét. Gould egy másik könyvében, az *Eight Little Piggies* (Nyolc kismalac) című̈ben, így írt: „Walcott ezek után annyira félreértelmezte ezeket a csodálatos őskövületeket, amennyire csak lehetett." Besorolta őket a mai élőlények rendszerébe, mondván, hogy ezek a most élő férgek, medúzák és más állatok ősei, és ezzel helytelenül ítélte meg különbözőségüket. Gould így panaszkodott: „Walcott értelmezése szerint a világ ősegyszerűségben kezdődött, és feltartóztathatatlanul, előre láthatóan haladt a több és a jobb felé."

Walcott 1927-ben meghalt, és a Burgess-pala őskövületeit majdnem el is felejtették. Fél évszázadon át porosodtak a washingtoni Amerikai Természetrajzi Múzeum fiókjaiban, ahol ritkán vetettek rájuk egy-egy pillantást, és senkiben nem merültek fel kérdések velük kapcsolatban. 1973-ban viszont a Cambridge Egyetem doktorandusza, Simon Conway Morris megtekintette a gyűjteményt, és nagyon meglepődött. Az őskövületek sokkal többfélék és jobb állapotúak voltak, mint ahogyan az Walcott írásaiból kiderült. A rendszertanban az élőlények alapvető testszerkezetük szerint rendeződnek törzsekbe, és itt Morris egymás után nyitotta ki az újabb és újabb fiókokat, és hihetetlen anatómiai rendkívüliségeket vett észre, amelyeket – érthetetlen módon – a példányokat megtaláló Walcott nem vett észre.

Morris témavezetőjével, Harry Whittingtonnal és hallgatótársával, Derek Briggsszel a következő éveket azzal töltötte, hogy módszeresen végignézték az egész gyűjteményt, és egyik izgalmas cikket publikálták a másik után, ahogyan egyre újabb és újabb érdekességekét fedeztek fel. Sok élőlény testszerkezete nemcsak egyszerűen nem volt semmihez hasonlítható, ami előtte vagy azóta élt, hanem egyszerűen groteszk volt. Az egyiknek, egy *Opabinia* nevűnek, öt szeme volt és csőrszerű ormánya, a végén karmokkal. Egy másik, korong alakú élőlény, a *Peytoia* nevetségesen hasonlított egy ananászszelethez. Egy harmadik gólyalábszerű lábak soraival közlekedett, és olyan különös volt, hogy neve *Hallucigenia* lett. Annyi ismeretlen újdonságot találtak ezeken a lényeken, hogy Conway Morris egyszer így fakadt ki egy új fiók kinyitásakor: „Na basszus, hát nem egy újabb törzs?"

Az angolok eredményei azt mutatták, hogy a kambriumban hihetetlen sokféle újdonság volt az állatok testén, mintha valaki kísérletezne, melyik lesz a jó. Az élet minden különösebb fejlődési törekvés nélkül elpiszmogott majdnem négymilliárd éven át, majd hirtelen, mindössze öt- vagy tízmillió év alatt létrejött az összes testszerkezetfajta, amelyek közül jó néhány még ma is használatban van. Akármelyik élőlénynek, a fonalféregtől Cameron Diazig, ugyanolyan szerkezete van, mint valamelyik kambriumbeli elődjének.

A legmeglepőbb mindenesetre az volt, hogy ennyiféle testszerkezetről derült ki, hogy nem alkalmas; itt azokra gondolok, amelyeknek nincsenek mai leszármazottai. Gould szerint a Burgess-pala állatai közül tizenöt vagy akár húsz olyan törzs is van, amelyhez tartozó fajok nincsenek jelen a ma élő állatok között. (Ez a szám néhány „ismeretterjesztő" cikknek köszönhetően hamarosan százra nőtt, de ennyiről soha nem volt szó.) – Az élet története – ahogy Gould írta – nagy fajkihalások és a megmaradó törzsek differenciálódásának váltakozása, nem pedig, ahogyan sokan képzelik, folyamatos tökéle-

tesedés, bonyolódás és sokféleség. – Az evolúciós előrejutás, úgy látszik, leginkább a lottóhoz hasonlítható.

Egy teremtmény azonban mégiscsak átcsúszott: egy kis féregszerű, *Pikaia gradiens*nek elnevezett állat, amelynek már volt gerinchúrja, és ezzel ő lett a mai gerincesek legelső ismert őse. A *Pikaia* nem túl sűrűn fordul elő a Burgess-leletben, és ez talán arra utal, hogy nagyon közel járt a kihaláshoz. Gouldnak van egy híres mondása arról, hogy az ember kialakulását mennyire véletlen szerencsének tekinti: „Tekerjük vissza az élet magnószalagját a Burgess-pala koráig, és játsszuk le újra ugyanattól a kezdőponttól. Elenyészően kicsi az esély arra, hogy az emberi értelem másodszor is megjelenik."

Gould *Wonderful Life* (Csodálatos élet) című könyve 1989-ben jelent meg a kritika zajos tetszésnyilvánítása közepette, és hatalmas kereskedelmi siker lett. Azt nem sokan tudták, hogy sok tudós egyáltalán nem értett egyet következtetéseivel, és hamarosan csúnya viták következtek. A kambriummal kapcsolatban a „robbanás" szót hamarosan főleg nem az ősi élettani tényekre használták, hanem a vitatkozók vérmérsékletére.

Ma már tudjuk, hogy a kambrium előtt legalább százmillió évvel is voltak már többsejtű élőlények. Tudhattuk volna hamarabb is. Walcott kanadai felfedezése után majdnem negyven évvel, a bolygó másik felén, Ausztráliában egy fiatal geológus, Reginald Sprigg még régebbi, és ugyanannyira jelentős dolgot talált.

1946-ban Sprigg, Dél-Ausztrália állami segédgeológusa feladata a Flinders-hegység Ediacara nevű hegyeiben lévő, elhagyott bányák vizsgálata volt. A hely Adelaide-től 500 kilométerre északra található, forró, távoli elhagyott vidéken. A feladat az volt, hogy megnézzék, vajon nem hasznosíthatók-e a régi bányák új technológiával, ezért Sprigg egyáltalán nem a felszíni kőzeteket vizsgálta, még kevésbé keresett őskövületeket. De egyik nap, miközben éppen ebédelt, szórakozottan felfordított egy darab homokkövet a lábával, és rettenetesen meglepődött, amikor látta, hogy a felszíne tele van apró őskövületekkel, amilyeneket például a falevelek a sárban hagynak. Mint kiderült, a kő és a többi, amelyet a helyszínen találtak, régebbi, mint a kambriumi robbanás. Most ezt a leletet tekintjük a látható élet hajnala első lenyomatának.

Sprigg írt egy cikket a *Nature* folyóiratnak, de nem fogadták el. Felolvasta az Ausztrál és Új-Zélandi Társaság a Tudomány Haladásáért következő évi találkozóján, de a cikk nem nyerte meg a társaság elnökének tetszését, aki szerint az Ediacara-lenyomatok pusztán „véletlen szervetlen minták", amelyeket a szél, eső vagy árapály hozott létre, de semmiképpen nem élőlények nyomai. Sprigg ennek ellenére fenntartotta véleményét, Londonba utazott, és bemutatta a leletet az 1948-as Nemzetközi Geológiai Konferencián, de itt sem sikerült felkeltenie senkinek még az érdeklődését sem, nemhogy az egyetértését. Mivel jobbat nem tudott, cikkét végül a *Transactions of the Royal Society of South Australia* című folyóiratban közöltette. Ezek után kilépett állami állásából, és olajat kezdett keresni.

Kilenc évvel később, 1957-ben egy John Mason nevű diák Közép-Anglia Charnwood erdőjében sétált, és talált egy követ, egy, a mai tengeri tollkorallhoz hasonló őskövülettel, ami teljesen olyan volt, mint amelyikről Sprigg hiába próbálta meggyőzni geológustársait. A fiú átadta a leletet a Leicesteri Egyetem egyik őslénykutatójának, aki azonnal látta, hogy az a kambrium előttről származik. Az ifjú Mason képe bekerült az újságokba és ifjú hősként ünnepelték; ma is sok könyvben szerepel a neve. Az őskövületet elnevezték róla *Charnia masoni*nak.

Sprigg eredeti ediacarai leletei és a Flinders-hegységben azóta talált másfél ezer példány közül ma

jó néhány a masszív, szép adelaide-i Dél-Ausztráliai Múzeum emeleti vitrinjeiben látható, de nem sok látogatót vonz. A finom rajzolatú minták meglehetősen halványan látszanak, és laikusok számára nem különösebben érdekesek. Legtöbbjük kicsi, korong alakú; egyik-másik kiegészül egy halvány szalaggal. Fortey szavai szerint: „puha testű furcsaságok".

A tudósok pedig még mindig nem egyeztek meg, hogy ezek az állatok mik lehettek, vagy hogyan éltek. Amennyire tudjuk, nem volt sem szájuk, sem végbélnyílásuk a táplálék be- és kiengedéséhez, sem belső szerveik, amelyekkel feldolgozhatták volna azt. Fortey így beszélt róluk: „Az élőlények legtöbbje valószínűleg egyszerűen csak puha, szerkezet nélküli lepényhalként hevert a homokos üledék felszínén." De a legélénkebbek sem lehettek bonyolultabbak a mai medúzáknál. Minden ediacarai állat diploblasztikus volt, tehát két szövetrétegből állt. A medúzák kivételével a mai többsejtű állatok triploblasztikusok.

Egyes szakértők szerint nem is állatok voltak, hanem növények vagy gombák. Még ma sincsen egyértelmű választóvonal az állatok és növények között. A mai szivacs az életét helyhez kötötten éli, nincsen szeme és agya, nem ver a szíve, de mégis állat. Fortey erről így írt: „A kambrium előtt valószínűleg még kevesebb különbség volt az állatok és a növények között. És nincs is olyan szabály, hogy egy élőlény csak az egyik vagy a másik lehet."

Azt sem tudjuk biztosan, hogy az ediacarai lények ősei-e bármilyen módon a ma élőknek (talán egyes medúzák kivételével). Több tudós hajlamos ezeket az állatokat kudarccal végződött kísérletnek tekinteni, a többsejtűség egy sikertelen próbálkozásának. Az is lehet, hogy azért haltak ki, mert lassúak és ügyetlenek voltak a kambriumi állatokhoz képest, amelyek felfalták őket, vagy elfogyasztották előlük a táplálékot.

Fortey: „Ma semmi efféle állat nem él. Nehéz ősöknek tekinteni őket."

Abban a legtöbb szakértő egyetért, hogy ezek az állatok nem lehettek nagyon fontosak a földi élet fejlődése szempontjából. Valamilyen tömeges fajkihalásnak kellett történnie a kambriumot közvetlenül megelőzően, és az ediacarai állatok (esetleg a bizonytalan medúzák kivételével) nem tudták átlépni ezt a határt. Az igazi többsejtű életforma ezek szerint a kambriummal kezdődött. Legalábbis Gould vélekedése szerint.

A Burgess-pala őskövületeinek értelmezését, különösen Gould álláspontját, azonnal megkérdőjelezték. Fortey ezt írta a *Life* magazinban: „Mindig is voltak tudósok, akik kételkedtek Gould elméletében, bár abban mindenki egyetértett, hogy előadási stílusa bámulatos." És ez még egy udvarias megfogalmazás.

Richard Dawkins oxfordi tudós viszont így kezdi beszámolóját a *Csodálatos élet*ről a *Sunday Telegraph*ban: „Bár Stephen Gould olyan világosan gondolkodna, ahogyan ír!" Dawkins elismerte, hogy a könyv „letehetetlen" és egy „irodalmi bűvészmutatvány", de azzal vádolja Gouldot, hogy „fellengzős és majdnem képmutató módon" félreértelmezi a tényeket, amikor azt állítja, hogy a Burgess-pala újbóli átnézése elképesztette az őslénykutatókat. „Az általa támadott nézet – hogy az evolúció feltartóztathatatlanul menetel a tetőpont (az ember) felé – már ötven éve kiment a divatból" – dühöngött Dawkins.

Megjegyzései a legtöbb általános könyvismertetőt hidegen hagyták. Egyikük, aki a New York Timesba írta kritikáját a könyvről, derűsen megjegyezte, hogy a tudósok Gould könyvének hatására „megszabadultak egyes előítéleteiktől, amelyeket előttük több nemzedéknek nem jutott eszébe megkérdőjelezni. Kelletlenül vagy szívesen, elfogadják az elképzelést, hogy az ember nem a természet véletlen műve, hanem szabályos fejlődés eredménye."

Gould elmélete ellen a fő ellenvetések alapja az volt, hogy sokan úgy gondolták, téves következtetéseket vont le, illetve túl nagy jelentőséget tulajdonított nekik. Az *Evolution* folyóiratban megjelent Dawkins egyik cikke, amelyben megtámadta Gould azon állítását, hogy „a kamb-riumban történt evolúciós folyamat másféle volt, mint ami ma történik". Kifejezte egyben Gould másik, gyakran ismételt állítása fölötti bosszúságát is, amely szerint „a kambriumban evolúciós »kísérlet« történt, más szóval evolúciós »próba szerencse« vagy evolúciós hibás rajt... Termékeny időszak volt, amikor az összes »alapvető testszerkezet« kialakult. Ma az evolúció csak ezeken belül működik. A kambriumban új törzsek és osztályok alakultak ki, ma pedig csak új fajok."

Dawkins megjegyzi, hogy a fenti elképzelést, amely szerint nem keletkeznek új testszerkezetek, Gould milyen gyakran hangoztatja, és így folytatja: „Olyan, mintha egy kertész felnézne egy tölgyfára, és ezt kérdezné: – Nem furcsa, hogy már évek óta nem jelentek meg új főágak? Mostanában csak gallyakat hajt."

Fortey most így mesél: „Különös idők voltak, főleg, ha figyelembe vesszük, hogy a vita tárgya már vagy ötszázmillió éves, mégis mindenki nagyon izgatott volt. Egyik könyvemben tréfásan megjegyeztem, hogy akárhányszor a kambriumról készültem írni, előtte mindig védősisakot szerettem volna felvenni, de utólag visszagondolva lehet, hogy tényleg így éreztem."

A legkülönösebben a *Csodálatos élet* egyik hőse, Simon Conway Morris reagált Gould elméletére. Az őslénykutatók igencsak meglepődtek, amikor váratlanul nekitámadott Gouldnak saját könyvében, amelynek a címe *The Crucibles of Creation* (A teremtés olvasztótégelyei) volt. Fortey később erről így írt: „Még soha nem olvastam ilyen epés szakkönyvet. Ha *A teremtés olvasztótégelyei* egy, az őslénytanon kívüli olvasó kezébe kerül, soha nem gondolná, hogy a szerző nézetei egykor közel álltak (ha nem egyeztek) Gouldéihoz."

Amikor erről kérdeztem Forteyt, azt mondta: „Nos, nagyon furcsa volt, sőt felháborító, hiszen Gould mindig olyan jókat mondott Morrisról. Csak azt tudom elképzelni, hogy Simon zavarban volt. Tudja, a tudomány változik, de a könyvek maradnak, és gondolom, nem tetszett neki, hogy ilyen visszavonhatatlan kapcsolatba került olyan nézetekkel, amelyeket már nem vallott. Gould könyvében benne volt az a »Na basszus, hát nem egy újabb törzs?« mondat, és gondolom, nem örült, hogy ezzel szerzett a hírnevet. Simon könyvét olvasva senki nem gondolná, hogy régebben pontosan úgy gondolkodott, mint Gould."

Mi történt? A kora kambriumi őskövületeket szigorúan megvizsgálták és újraértékelték. Fortey és Derek Briggs – Gould könyvének másik főszereplője – egy kladisztikának nevezett módszerrel összehasonlították a különféle Burgess-őskövületeket. A kladisztika egyszerűen szólva az élőlények közös tulajdonságai alapján történő besorolása. Fortey példája: hasonlítsuk össze a cickányt és az elefántot. Ha a hatalmas, hosszú ormányú elefántot nézzük, első pillantásra nem fedezünk fel sok hasonlóságot közte és a kis szimatoló cickány között. De ha mindkettőt a gyíkhoz hasonlítjuk, észrevesszük, hogy az elefánt és a cickány testszerkezete nagyjából ugyanaz. Fortey lényegében azt mondja, hogy Gould elefántokat és cickányokat látott, ahol ő és Briggs emlősöket lát. A Burgess-élőlények nem is olyan különösek és sokfélék, amilyennek elsőre látszanak. Fortey véleménye: „Gyakran nem furcsábbak, mint a háromkaréjú rákok, amelyekhez már hozzászoktunk a felfedezésük óta eltelt évszázad alatt. Similis simile gaudet, avagy a hasonló a hasonlónak örül".

Mindenképpen szeretném megjegyezni, hogy itt szó sem volt felületességről vagy hanyagságról. Az őslények alakját és egymáshoz való viszonyát nem könnyű értelmezni a fennmaradt torz, töredékes leletek alapján. Edward O. Wilson szerint, ha mai, különböző fajhoz tartozó rovarokat valakinek Bur-

gess-minőségű őskövületként mutatnánk be, senki nem találná ki, hogy egy törzsbe tartoznak, annyira különböznek egymástól. A Burgess-lelet értelmezésében sokat segített két másik kora kambriumi lelőhely (az egyik Grönlandon, a másik Kínában van) és még néhány más lelet felfedezése. Kiderült például, hogy a *Hallucigeniát* fejjel lefelé rekonstruálták. Amiket hosszú lábaknak hittek, azok tüskék voltak a hátán. A *Peytoia*, az ananászszelet alakú élőlény nem is egy egész állat, hanem egy *Anomalocaris* nevű nagyobb állat egy része. A Burgess-állatok nagy része mégiscsak besorolható a ma élő törzsek valamelyikébe – ahogyan azt Walcott eredetileg gondolta. A *Hallucigenia* és néhány más állat valószínűleg az *Onychophora* nevű, hernyószerű állatok csoportjába tartozik. Másokat a mai gyűrűsférgek elődjének tartanak. Fortey azt írja, a tudomány mai álláspontja szerint „viszonylag kevés ma ismeretlen kambrium kori testszerkezet van. Ehelyett legtöbbször a jól ismert szerkezetek érdekes változataival találkozunk." A Life magazinban pedig így írt: „Egyikük sem olyan furcsa, mint a mai kacsakagyló, vagy olyan abszurd, mint a termeszkirálynő."

Tehát a Burgess-pala állatai mégsem olyan látványosak. Mint Fortey írta, „ettől még érdekesek és különösek maradnak, csak éppen megma-gyarázhatóbbak". Furcsa testszerkezetüket tekinthetjük ifjúkori hóbortnak – mondjuk, hogy az evolúció egy olyan tulajdonságának, ami megfelel a zselézett hajnak és a nyelvpiercingnek. Végül az állatok formája megállapodott, mintha elérkeztek volna a higgadt, stabil középkorúságba.

Az a kérdés viszont még mindig megmaradt, hogy honnan jött ez a sok állat, hogyan bukkantak elő a semmiből.

Sajnos kiderült tehát, hogy a kambrium kori robbanás nem is volt olyan nagy dolog. Az ekkor élt állatok valószínűleg mindig is megvoltak, csak még túl kicsik voltak ahhoz, hogy észrevegyék őket. Most is a háromkaréjú rák oldotta meg a problémát, pontosabban az, hogy egy bizonyos időpontban látszólag rejtélyes módon különbözőféle trilobiták jelentek meg a Föld egymástól távoli pontjain.

Első pillantásra sok teljesen kialakult, de többféle állat hirtelen megjelenése inkább még csodálatosabb fényben tüntetné fel a kambriumi robbanást, de itt éppen az ellenkező oldalra billentette a mérleget. Ha egy bonyolult élőlény, mint a háromkaréjú rák, egyszer csak mindentől elszigetelve életre kelne, az maga lenne a csoda. Az viszont, hogy ilyen sok, különböző, de egyértelműen egymással rokon állat jelent meg New York területén pontosan ugyanakkor, mint Kínában, csak azt jelentheti, hogy történetükről nem tudunk mindent; egy rész hiányzik. Nem is lehetne elképzelni ennél erősebb bizonyítékot arra, hogy kellett legyen egy közös ősük, valamiféle nagypapafaj, ami sokkal korábban megkezdte a hozzájuk vezető utat.

És ezt a korábbi fajt valószínűleg azért nem találjuk, mert túl kicsi volt ahhoz, hogy fennmaradjon. Fortey: „Egy tökéletesen működő, bonyolult élőlénynek nem kell nagynak lennie. A tenger tele van apró ízeltlábúakkal, amelyek nem hagynak őskövületeket maguk után." Példaként említi a kis evezőslábú rákot, amelyből ma több trillió él a tengerekben; akkora rajokban vonul, amelyektől az óceán hatalmas területei elfeketednek, ősei közül mégiscsak egyetlen példány maradt fenn kövületként, egy megkövült hal gyomrában."

„A kambriumi robbanás, ha ugyan ez egyáltalán a megfelelő kifejezés, valószínűleg inkább méretbeli növekedést jelentett, mint új testszerkezetek hirtelen megjelenését. És az is lehet, hogy egészen gyorsan történt; ebben az értelemben valóban beszélhetünk robbanásról." Fortey úgy gondolja, hogy ez a méretnövekedés is hasonlóan történt, mint az emlősöké, amelyek vagy százmillió évig várták az alkalmas pillanatot, amikor a dinoszauruszok eltűnnek, majd robbanásszerűen elterjedtek az egész bolygón. Lehet, hogy az ízeltlábúak és más triploblasztok is majdnem mikroszkopikus méretűek vol-

tak, amíg el nem jött az ediacarai élőlények ideje. Fortey szerint „tudjuk, hogy az emlősök mérete drámai módon megnőtt, miután a dinoszauruszok kihaltak, bár amikor azt mondom, hogy gyorsan, akkor ezt geológiai értelemben értem, tehát évmilliók alatt”.

Meg kell még említenem, hogy Reginald Sprigg végül megkapta a megérdemelt elismerést. Az egyik fontos ősi fajt, a *Sprigginá*t róla nevezték el, ezenkívül számos más fajt is, és az egészet ediacarai faunának hívják az általa átkutatott dombvidék után. Addigra azonban Sprigg már rég nem keresett őskövületeket. A tudományos kitérő után sikeres olajipari céget alapított, és végül visszavonult szeretett Flinders-hegységébe, ahol vadvilág-rezervátumot létesített. 1994-ben halt meg, gazdagon.

22.
AGYŐ, VILÁG!

Ha az ember szemszögéből nézzük – és milyen más nézőpontunk is lehetne? –, az élet különös dolog. Alig várta, hogy elkezdődjön, de amikor egyszer elkezdődött, nagyon ráérősen fejlődött tovább.

Gondoljunk például a zuzmóra. A zuzmó a Föld egyik legszívósabb látható élőlénye, ugyanakkor az egyik legkevésbé törekvő lény is. Boldogan nő a napos sírkertben, de szépen terjed minden olyan környezetben, ami senki másnak nem lenne ínyére: szeles hegycsúcsokon, sarkvidéki törmeléken, akárhol, ahol a sziklákon szinte semmi nem él meg, eső és hideg van – e területeken szinte nem is akad vetélytársa. Az Antarktisz olyan területein, ahol gyakorlatilag semmi más növény nem él meg, rengeteg zuzmót találunk, körülbelül négyszázfélét, amelyek hűségesen tapadnak a szélfútta kövekre.

Az emberek sokáig nem tudták, hogyan képes erre ez a növény. Mivel a zuzmó a csupasz sziklákon él, szemmel láthatóan nem vesz magához táplálékot, és nem hoz magot. Sokan – iskolázott emberek is – úgy gondolták, hogy köveket látnak, amelyek éppen most változnak növénnyé. Egy megfigyelő, dr. Hornschuh 1819-ben így írt erről: „A szervetlen kő magától élő növénnyé válik!”

Ha a zuzmót közelebbről vizsgáljuk, látni fogjuk, hogy a jelenség inkább érdekes, mint varázslatos. A zuzmó egy gombafaj és egy moszatfaj együttélése. A gomba olyan savat termel, amely feloldja a kő felszínét, és ezzel felszabadulnak az ásványok, amelyeket a moszat mindkettőjük számára értékes táplálékká alakít. Az elrendezés nem túl izgalmas, de nyilvánvalóan sikeres. A világon több mint húszezer zuzmófaj él.

A zuzmó lassan nő, mint a legtöbb, nehéz életkörülmények között növekvő élőlény. Néha több mint fél évszázad alatt éri el egy inggomb méretét. David Attenborough szerint a lapostányér méretűek „valószínűleg több száz, ha nem több ezer évesek”. Nehéz ennél kevésbé kielégítő életet elképzelni. Attenborough: „Csak vannak, és tanúsítják a megható tényt, hogy még a legalacsonyabb szintű élet is élet, egyszerűen a létezés kedvéért.”

Könnyen elsiklunk afelett, hogy az élet egyszerűen van. Emberként úgy érezhetjük, mindennek kell hogy célja legyen. Terveink, törekvéseink, vágyaink vannak. A lehető legteljesebb mértékben, állandóan ki akarjuk használni a részegítő létezést, amit ajándékba kaptunk. De miből áll egy zuzmó élete? Élni akarása mégis éppolyan erős, mint a miénk, sőt, jó érveim vannak rá, hogy kijelenthessem: még erősebb. Ha nekem évtizedeket kellene töltenem bolyhos kinövésként egy kövön az erdőben, nem hiszem, hogy sok kedvem lenne így folytatni. A zuzmók viszont így élnek. Mint majdnem minden élőlény, minden nehézséget elviselnek, minden törődést eltűrnek csak azért, hogy egy pillanattal tovább éljenek. Az élet tehát élni akar. De – és ez érdekes – sokszor ennél többet nem is akar.

Lehet, hogy ez egy kicsit furcsa, hiszen elég idő volt arra, hogy az élet ennél kicsit többre vágyjon. Ha a Föld négy és fél milliárd éves történelmét egyetlen napba sűrítenénk, azt látnánk, hogy az élet nagyon korán kezdődött, körülbelül hajnali négykor; ekkor fejlődtek ki az első egysejtűek. Ennél aztán nem is jutott tovább a következő tizenhat óra alatt. Este fél kilenckor, amikor a napnak már csak egyhatoda volt hátra, a Földön semmi különös látnivaló nem volt, csak mikrobák. Ekkor megjelentek az első tengeri növények, majd húsz perccel később az első medúzák, és a rejtélyes állatvilág, aminek a nyomát először Reginald Sprigg találta meg Ausztráliában. Kilenc után négy perccel megjelennek a színen a háromkaréjú rákok, nem sokkal utánuk pedig a Burgess-pala formás állatai. Este tíz előtt va-

lamivel a szárazföldön is növények jelentek meg. Nem sokkal később, amikor már két óra sincsen hátra a napból, a szárazföldön is állatok tűntek fel.

Mintegy tízpercnyi enyhe idő következett, ezért 10:24-re a Földet ellepték a nagy, karbontartalmú erdők, amelyek maradványaiból nyerjük ma a szenet, és megjelentek az első szárnyas rovarok. A dinoszauruszok éjjel, valamivel tizenegy előtt jelentek meg a színen, és vagy háromnegyed órán keresztül ők uralták a Földet. Huszonegy perccel éjfél előtt eltűntek, és megkezdődött az emlősök kora. Az ember éjfél előtt egy perccel és tizenhét másodperccel bukkant elő. Teljes írásos történelmünk beleférne egy pár másodpercbe, egy ember élete pedig csak egy pillanat lenne. Ezen a hihetetlen gyorsasággal lepörgő napon a szárazföldek folyamatosan csúszkálnak és ütköznek. Hegyek emelkednek ki és tűnnek el, óceánmedencék jönnek-mennek, jégtakarók terjeszkednek és olvadnak. Az egész folyamat során, percenként körülbelül háromszor a bolygón felvillan egy-egy pont, ami a Manson méretű vagy ennél nagyobb meteorok becsapódását jelzi. Csoda, hogy bármi is túléli ezt a barátságtalan, bizonytalan környezetet. Valójában nem sok minden éli túl sokáig.

Lehet, hogy még jobban felfogjuk, milyen kevés ideje vagyunk jelen a Földön annak 4 500 millió éves múltjához képest, ha kitárjuk a karunkat, amennyire csak tudjuk, és elképzeljük, hogy az a Föld teljes története. John McPhee ezt a hasonlatot alkalmazza a *Basin and Range* (Medence és hegylánc) című könyvében. Ezen a skálán az ujjunk hegyétől a másik ujjunk csuklójáig tart a kambrium előtti kor. A többsejtű élőlények mind ebben a kezünkben vannak, „és egy közepes finomságú körömreszelő egyetlen húzásával kitörölhetnénk az emberiség történetét”.

Szerencsére ez a pillanat még nem következett be, de ez valószínűleg nem marad így sokáig. Igazán nem szeretném, ha történetünknek éppen ezen a pontján rosszkedvre hangolnám az olvasót, de a földi életnek van még egy módfelett jellemző tulajdonsága: kihal. Mégpedig rendszeresen. Ahhoz képest, hogy a fajoknak micsoda fáradságába kerül megjelenni és fennmaradni, különös, hogy mégis állandóan összeomlanak és meghalnak. Úgy látszik, minél fejlettebb egy élőlény, annál gyorsabban hal ki. És talán ezért van, hogy az élet legnagyobb része nem tör nagyra.

Nagy esemény tehát, amikor az élet valami különlegeset produkál, és nem sok nagyobb esemény történt az élet fejlődése során, mint amikor az élet úgy lépett a fejlődés következő fokára, hogy kijött a tengerből. A forró és száraz föld félelmetes lehetett; erős ultraibolya sugárzásnak volt kitéve, és nehezebben lehetett rajta mozogni, mint a vízben. A szárazföldi élethez az állatok csak úgy alkalmazkodhattak, hogy szervezetük alapjában véve megváltozott. Ha egy halat a két végénél fogva tartunk, a közepénél behajlik, mert gerince nem elég erős, hogy megtartsa. A tengeri élőlényeknek új, nagyobb teher viselésére képes belső szerkezetet kellett kialakítaniuk, és ez hosszú folyamat. A szárazföldi élőlényeknek elsősorban és legnyilvánvalóbban azonban arra kellett módot találniuk, hogy az oxigént egyenesen a levegőből nyerjék, és ne a vízből. Ezeket a problémákat nem lehetett egyszerű áthidalni. Másrészt viszont jó okuk volt a víz elhagyására: az egyre veszélyesebb lett. A szárazföldek lassan egyre közelebb kerültek egymáshoz és ahhoz, hogy megteremtsék az egyetlen földrészt, Pangeát, ezért egyre rövidebb lett a tengerpart, amelynek környéke pedig nagyon alkalmas élőhely. A vetélkedés tehát egyre kegyetlenebbé vált. Ezenfelül megjelent egy mindent felfaló új ragadozó a színen: a cápa. Ennek a teste annyira tökéletesen megformált a támadásra, hogy lényegében azóta sem változott. Itt volt hát az ideje, hogy egyesek megpróbálkozzanak a vízen kívüli élettel.

A növények mintegy négyszázötvenmillió éve kezdték meghódítani a szárazföldet, és velük tartottak

némely apró élőlények is, amelyek számukra lebontották az elpusztult élőlényekből származó szerves anyagokat. A nagyobb állatoknak hosszabb idő kellett az alkalmazkodáshoz, de körülbelül négyszázmillió éve már ők is kimerészkedtek a vízből. Sok rajz jelent meg, amely a szárazföld első meghódítóit nagyra törő halakként ábrázolja – valami hasonlóra gondoljunk, mint a mai kúszó-gébek), amelyek aszály esetén egyik pocsolyából a másikba tudnak ugrani – vagy akár teljesen kialakult kétéltűként. Valójában a partok első látható, mozgásra képes lakói valószínűleg inkább olyanok voltak, mint a mai ászkák. Ezeket a kis bogarakat (rendszertanilag: rákokat) látjuk zavarodottan futkosni, ha felfordítunk egy követ vagy egy földön fekvő nagyobb fadarabot.

Jó dolguk volt azoknak, akik megtanulták az oxigént kinyerni a levegőből. A devon és karbon kor (a szárazföldi élet megjelenése) oxigénszintje már 35% volt (ma inkább 20% körül van). Ez tette lehetővé, hogy ezek az állatok különösen gyorsan különösen nagyra nőjenek.

Az olvasó jogosan teheti fel a kérdést: honnan lehet tudni, hogy több száz millió éve mekkora volt az oxigénszint. A választ erre az izotóp geokémia nevű, kicsit homályos, de szellemes tudományág adta meg. A devon és karbon kor idején a tengerekben nagy tömegben éltek apró, héjas planktonállatok. A héjukat, csakúgy, mint manapság, a légköri oxigén és más anyagok (főleg szén) tartós vegyületekké (például a kalcium-karbonáttá) alakításával készítették. Ugyanaz a vegyi folyamat megy itt végbe, mint a nagy szénkörben; nem túl izgalmas dolog, de elengedhetetlen a bolygó lakhatóvá tételéhez.

A folyamat során az állatok elpusztulnak, a tenger fenekére süllyednek, és ott mészkővé préselődnek. A plankton magával visz a sírba két igen stabil izotópot: az oxigén-16-ot és az oxigén-18-at. (Ha az olvasó már elfelejtette, mi is az az izotóp, a rend kedvéért megjegyzem, hogy a szokásostól eltérő számú neutronnal rendelkező atom.) Itt van szükség a geokémikusokra, mivel az izotópok eloszlása attól függ, hogy létrehozásukkor mennyi oxigén vagy szén-dioxid volt a légkörben. A két izotóp egykori lerakodási ütemének összehasonlításából a geokémikusok ki tudják következtetni, hogy milyen körülmények uralkodhattak akkoriban: mekkora volt a légköri oxigén aránya, milyen volt a levegő és a víz hőmérséklete, mikor és mennyi ideig voltak jégkorszakok, és még sok mást. Ezeket az eredményeket és más, fosszíliákból származó adatokat (például a pollenszinteket) összevetve egészen jó képet kapunk a régebbi, emberi szem által sosem látott korok élővilágáról.

A szárazföldi élet kialakulásakor leginkább azért emelkedhetett meg ilyen radikálisan az oxigénszint, mert a növényzet főleg óriáspáfrányokból és hatalmas mocsarak növényeiből állt, amelyek megzavarták a szokásos szénkört, mert nem rothadtak el a szokásos módon, hanem termékeny, nedves üledéket képeztek, amely szénrétegekké nyomódott össze; ma is ezt a szenet használjuk.

A magas oxigénszintnek köszönhetők a hatalmas testméretek. Ma a legrégebbi szárazföldi állat nyoma egy skóciai kőben talált nyom, amelyet egy százlábúszerű állat hagyott 350 millió éve. Több mint egy méter hosszú. De a korszak vége felé egyes százlábúak valószínűleg ennek a kétszeresét is elérték.

Ha ilyen állatok másznak a földön, nem csoda, hogy a kor egyes állatai kitaláltak egy mutatványt, amivel biztonságosan elkerülhették a rájuk vadászó hosszú nyelveket: megtanultak repülni. Egyesek olyan jól, hogy módszerükön azóta sem kellett változtatniuk. A szitakötők, csakúgy, mint mai utódaik, már akkor is képesek voltak óránként akár 50 kilométer megtételére, és közben bármikor meg tudtak állni, a levegőben egy helyben maradni, visszafelé repülni, és testtömegükhöz képest sokkal több súlyt magukkal vinni, mint amire bármelyik ember alkotta gép képes. Egy szerző így írt erről: „Az Egyesült Államok Légiereje kutatói szélcsatornákban vizsgálták, hogyan képesek a szitakötők erre a teljesítményre, és elkeseredtek.” A szitakötőknek is jót tett az oxigéndús levegő. A karbon kori erdők-

ben akkora példányok repkedtek, mint egy mai holló. A fák és egyéb növények is hatalmas méreteket öltöttek. A zsurlók és páfrányfák 15 méter magasra nőttek, a korpafű 40 méteresre.

Az első szárazföldi gerincesekről, tehát távoli őseinkről, keveset tudunk. Ez részben azért van, mert nem sok őskövületük maradt fenn, részben egy Erik Jarvik nevű hóbortos svéd hibájából, aki a leletek egyéni értelmezésével és titokban tartásával majdnem ötven évig akadályozta a kutatást. Jarvik egy skandináv expedíció tagja volt, amely Grönlandon kutatott megkövült halak után az 1930-as és 40-es években. Leginkább egy négylábú, bojtosúszójú hal érdekelte őket, ami valószínűleg az ember és minden földön járó állat közös őse.

A legtöbb gerinces állat négylábú, tehát négy végtagja van, amelyek legfeljebb öt ujjban végződnek. A dinoszauruszok, bálnák, madarak, emberek, sőt még a halak is négylábúak, ami azt mutatja, hogy közös őstől származnak. Úgy gondolták, ezt az őst a körülbelül négymillió évvel ezelőtti devon korban kell keresni, ugyanis ennél korábban még semmi nem járt a szárazföldön. A csapat szerencsésen talált is egy ilyen állatot, a méteres hosszúságú *Ichthyostegá*t Az őskövületet Jarvik vizsgálta, 1948-tól negyvennyolc éven át. Sajnos senki másnak nem engedte meg, hogy négylábú leletét megnézze. A világ többi őslénykutatójának meg kellett elégednie azzal a két vázlatos, ideiglenes cikkel, amelyekben Jarvik közli, hogy az állat négy lábán öt-öt ujj van, tehát származástanilag fontos.

Jarvik 1998-ban halt meg. Ekkor az őslénykutatók végre megvizsgálhatták a leletet, és kiderült, hogy Jarvik tévedett az ujjak számában (az állatnak nyolc ujja volt lábanként), és nem vette észre, hogy ez a halszerű állat nem járhatott a szárazföldön. Az uszonyának olyan volt a szerkezete, hogy összeomlott volna saját súlya alatt. Mondanom sem kell, hogy ez mennyire félrevezetett mindenkit az első szárazföldi állatokkal kapcsolatban. Ma három ősi négylábút ismerünk, de egyiknek sincsen öt ujja. Összefoglalva: nem igazán tudjuk, honnan származunk.

De valahonnan biztosan, bár mai fejlett állapotunkat nem teljesen egyenes úton értük el. A szárazföldi élet kezdete óta az állatok négy megadinasztiára oszthatók. Az elsőbe tartoznak az egyszerű, nehézkes, de néha meglehetősen súlyos kétéltűek és hüllők. A kor legismertebb állata a *Dimetrodon* volt, egy tarajos hátú lény, amelyet gyakran összetévesztenek a dinoszauruszokkal (még Carl Sagan *Comet* [Üstökös] című könyvének egyik képaláírásában is tévesen szerepel). A *Dimetrodon* valójában *Synapsida* (egy halántékablakú) volt. A Synapsidák az őshüllők négy fő ágának egyikét képezték, a másik három: Anapsidák (halántékablak nélküliek), Euryapsidák és Diapsidák (két halántékablakúak). A nevük arra utal, hogy hány kis lyuk és milyen helyzetben található a koponyájukon. A Synapsidáknak egy volt a halántékuk alján, a Diapsidáknak kettő; az Euryapsidáknak is egy, de feljebb.

Később a négy fő ág több kisebbre oszlott, amelyek némelyike ma is virágzik, mások viszont kihaltak. Az Anapsidákból lettek a teknősök, amelyek egy ideig, bármilyen hihetetlen, a bolygó legfejlettebb, halálosan veszélyes élőlényei voltak, mielőtt az evolúció egy fordulata során inkább a hosszú élet, mint a dominancia lett fő céljuk. A Synapsidák négy csoportja közül csak egy élte túl a perm kort; szerencsére mi is ehhez az ághoz tartozunk, mert ebből lett a Therapsida nevű ősemlősök családja; ez a második megadinasztia.

A Therapsidák nem sokáig örülhettek, mert rokonaik, a Diapsidák is sikeresen vették az evolúciós kanyarokat; belőlük lettek a dinoszauruszok is. Ezek túl erős versenytársak voltak a Therapsidák számára, akik nem tudták felvenni a küzdelmet az új, agresszív állatokkal, és hosszú ideig nyomukat sem találni az őskövületek között. Néhány Therapsida viszont kis, bundás, föld alatt lakó állattá fejlődött, amelyek nagyon sokáig várták az alkalmas időt, hogy teljes jogú emlősökké válhassanak. A legnagyobbak sem nőttek nagyobbra egy házimacskánál, de legtöbbjük nem volt nagyobb az egérnél sem.

Végül ez mentette meg őket, de majdnem 150 millió évig kellett várniuk, amíg a harmadik megadinasztia, a dinoszauruszok kora hirtelen véget nem ért, és elérkezett a negyedik megadinasztia, az emlősöké.

A fent említett hatalmas átalakulásokat, csakúgy, mint a kisebbeket, amelyek valaha történtek, ugyanaz a paradox módon fontos erő hajtotta: a fajok kihalása. Különös, de a Földön egy-egy faj halála az élet fontos vonása. Senki nem tudja, hány faj létezett az élet kezdete óta. Legtöbben úgy gondolják, harmincmilliárd, de van, aki inkább négyezer milliárdra becsüli. Ha ezt nem is tudjuk, az biztos, hogy a valaha élt fajok 99,99%-a már nincsen közöttünk. David Raup, a Chicagói Egyetem munkatársa ezt így szokta fogalmazni: „Jó közelítés, ha azt mondjuk, minden faj kihalt." A többsejtű élőlények fajainak átlagos fennmaradási ideje körülbelül négymillió év; az ember ma körülbelül itt tart.

A fajkihalás természetesen nem nagy öröm az áldozatoknak, az élő bolygó szempontjából azonban mindenképpen előnyös. Ian Tattersall, az Amerikai Természetrajzi Múzeum munkatársa szerint: „A fajok kihalásának egyetlen alternatívája a pangás, és ez még nem tett jót egyetlen birodalomnak sem." (Fontos megjegyeznem, hogy itt most az olyan fajkihalásról beszélünk, ami természetes módon, hosszú idő alatt következik be. Ha az ember irt ki egy fajt saját gondatlansága miatt, az egészen más.)

A Föld történetének válságos időszakai után a fejlődés mindig megugrott. Az ediacarai fauna kipusztulását a kambriumi „robbanás" követte. 440 millió év alatt, az ordovíciumban, rengeteg mozgásképtelen szuszpenziófaló tűnt el az óceánokból, és így kialakultak a suhanó halak és óriási vízi őshüllők fejlődésének feltételei. Ezek már megfeleltek a szárazföldek gyarmatosítására, ahol a devon kor végén ismét nagy fajkihalások következtek. És ez így ment, szabálytalan időközönként, az élővilág egész történetén át. Ha a legtöbb esemény nem pontosan úgy történt volna, ahogyan történt, mi most valószínűleg nem lennénk itt. A Föld történetében egy-egy nagy fajkihalás volt az ordovíciumban, a devonban, a permben, a harmad- és a kréta korban, és mellettük még sok kisebb. Az ordovíciumban (440 millió éve) és a devonban (365 millió éve) a fajok 80-85%-a kipusztult. A harmad- és a kréta korban (210, illetve 65 millió éve) 70-75%-uk. Az igazi pusztulás azonban 245 millió éve, a perm korban történt; ekkor ment le a hosszú dinoszaurusz-korszak végét jelző függöny. Az őskövületek tanúsága szerint velük együtt elpusztult az akkori fajok legalább 95%-a. Még a rovarfajok egyharmadát is elveszítettük, pedig azok nem szoktak tömegesen kihalni. Ekkor jártunk a legközelebb a teljes megsemmisüléshez.

Richard Fortey: „Valóban tömeges kihalás volt ez, a Földön még soha nem látott mészárlás." Az esemény különösen a tengeri állatokat sújtotta. A háromkaréjú rákok teljesen eltűntek, és majdnem minden kagyló és tengeri sün is. Szinte minden más tengeri állat is. Mindent összevéve, a szárazföldön és a vízben élő állatcsaládok 52%-a semmisült meg (ez a faj fölötti és a rend alatti rendszertani szint – lásd a következő fejezetben), a fajoknak pedig mintegy 96%-a. Hosszú időnek kellett eltelnie, talán 80 millió évnek is, amíg a fajok száma ismét beállt a korábbi értékre.

Két dolgot ne felejtsünk el. Először is, ezek csak becslések. Többféle elmélet van arról, hogy a perm végén hány faj maradt meg, és ezek szerint az érték 45 000-től 240 000-ig bármekkora lehet. Ha pedig azt sem tudjuk, hány faj élt, nehezen határozható meg, milyen arányban haltak ki. Ezenfelül itt fajok és nem egyedek kipusztulásáról beszélünk. Ha az egyedekről lenne szó, lehet, hogy a veszteség még nagyobb lenne; sok faj esetében 100%-os. Az élet következő nagy lottósorsolását megérő fajok létezésüket valószínűleg néhány sebesült, bicegő túlélőnek köszönhetik.

A nagy kihalások között voltak kisebb, kevésbé ismertek is, például a hemphilli, a frasni, a famenni, a rancholabre-i és még vagy tucatnyi másik, amelyek során nem pusztult ki annyi faj, de egyes populációkat a kihalás szélére sodort. A legelő állatokat, köztük a lovakat is majdnem megsemmisítette a mintegy ötmillió éve történt Hemphilli-epizód. A lovaknak csak egyetlen faja élte túl, amelynek olyan kevés őskövülete maradt fenn, hogy valószínűleg volt olyan időszak, amikor kétségessé vált fennmaradásuk. Képzeljük csak el, milyen lett volna a történelmünk lovak és legelő állatok nélkül.

Nem ismerjük sem a nagyobb, sem a kisebb tömeges fajkihalások okát. Még ha figyelmen kívül hagyjuk a legőrültebb elméleteket, akkor is több feltételezésünk marad a kihalások okáról, mint ahány kihalás történt. Legalább két tucat ok vagy fő előidéző lehetett, például a globális felmelegedés, a globális lehűlés, a változó tengerszintek, a tengerek oxigénszintjének csökkenése (anoxia), járványok, nagy metángáz-felszabadulások a tengerfenék alól, meteor- és üstökösbecsapódások, hiperhurrikánok, nagy vulkán- és katasztrofális napkitörések.

Az utolsó egy különösen elgondolkodtató lehetőség. Senki nem tudja, mekkora lehet egy napkitörés, mert csak az űrhajózás kora óta figyeljük őket, de a Nap hatalmas energiaforrás, és viharai ennek megfelelően roppant nagyok. Egy szokásos napkitörés, amit mi a Földön észre sem veszünk, egymillió hidrogénbomba energiáját szabadítja fel, és körülbelül százmilliárd tonnányi gyilkos, nagy energiájú részecskét repít az űrbe. A magnetoszféra és a légkör ezeket általában visszaveri az űrbe, vagy a sarkok felé irányítja (ezekből lesz a Föld szépséges sarki fénye), de egy szokatlanul nagy, például százszoros erejű kitörés valószínűleg áthatolna védelmi rendszerünkön. Tündöklő tűzijátéknak lennénk tanúi, de valószínűleg csak rövid ideig, mert a nézők legnagyobb része szinte biztosan megsülne. A NASA Rakétameghajtás Laboratóriumának munkatársa, Bruce Tsurutani erről a következő vérfagyasztó állítást kockáztatta meg: „Egy ilyen eseménynek valószínűleg nem maradna nyoma a történelemben.”

Egy kutató szerint „többtonnányi feltevésünk van, de csak nagyon kevés bizonyítékunk”. A lehűlésnek valószínűleg köze volt három nagy fajkihaláshoz (ordovícium, devon, perm), de ennél nem sokkal tudunk többet, még azt sem, hogy az események gyorsan vagy lassan történtek. Azt sem tudni például, hogy a késő devon kori fajkihalás (ami után a gerincesek a szárazföldre kerültek) vajon több millió év alatt következett-e be, csupán évezredek kellettek hozzá, vagy esetleg egyetlen eseménydús nap alatt ment végbe.

A fajkihalások okát azért is nehéz megtalálni, mert nem könnyű nagy mennyiségben kioltani az életet. A Manson-becsapódásnál láttuk, hogy még egy kegyetlen csapást is túl lehet élni, ha kicsit nehezen is. Akkor miért volt a Földet érő több ezer becsapódás közül a 65 millió évvel ezelőtti, a dinoszauruszokat elpusztító KT-esemény ilyen egyedülállóan megsemmisítő hatású? Először is, tudjuk, hogy hatalmas volt; 100 millió megatonna erővel csapódott a Földbe. Nehéz ekkora robbanást elképzelni, de, mint James Lawrence Powell rámutatott, ha a ma élő emberek mind felrobbantanának egy-egy hirosimai méretű bombát, még mindig nem érnék el a KT-becsapódás erejét. De még ez sem lett volna elég a földi élet 70%-ának (és ebben benne van az összes dinoszaurusz) kiirtásához.

A KT-meteoritnak megvolt az az előnye is – legalábbis az emlősök szempontjából –, hogy a sekély, alig 10 méteres tengerben végezte, és valószínűleg éppen megfelelő szögben, amikor a légkör oxigéntartalma másfélszerese volt a mainak, tehát a világ sokkal gyúlékonyabb volt. Ráadásul a tengerfenék a becsapódás helyén kénben gazdag szikla volt. Ennek az lett az eredménye, hogy a tengerfenéknek körülbelül a mai Belgiummal megegyező területe kénsav-aeroszollá vált. Utána hónapokig olyan savas esők estek a Földön, amelyek kiégették az állatok bőrét.

A kérdésnél, hogy mi pusztította ki az akkor élő fajok 70%-át, még érdekesebb, hogy hogyan élte túl az eseményt a másik 30%. Miért volt ez az epizód olyan jóvátehetetlenül pusztító minden egyes dinoszaurusz számára, miközben a többi hüllő, például a kígyók és a krokodilok, szinte egy karcolás nélkül megúszták? Amennyire tudjuk, Észak-Amerikában nem halt ki egyetlen varangy-, gőte-, szalamandra- vagy más kétéltűfaj sem. Tim Flannery így teszi fel a kérdést lenyűgöző amerikai őstörténetében, az *Eternal Frontier* (Az örök határvidék) című könyvben: „Hogyan lehetséges, hogy ezek az érzékeny állatok sérülés nélkül vészeltek át egy ilyen páratlan katasztrófát?”

A tengerekben hasonló furcsaságok történtek. Minden ammonita eltűnt, de rokonaik, a hasonló életmódot folytató nautiluszok fennmaradtak. Egyes planktonállatfajok kipusztultak, például a foraminiferák 92%-a, más állatok, mint a hasonló testszerkezetű, mellettük élő kovamoszatok gyakorlatilag nem sérültek.

Nagy ellentmondások ezek. Richard Fortey: „Valahogy nem kielégítő, ha azt mondjuk egyesekre, szerencsésen megúszták, és ennyiben maradunk.” Ha – mint az egészen valószínű – az eseményt több hónapig sűrű, fojtogató füst követte, akkor nehéz megmagyarázni például a túlélő rovarokat. „Egyes rovarok, például a bogarak, megélnek a fákon, és a földön fekvő dolgokon. De mi van az olyan állatokkal, mint például a méhek, amelyek a Nap szerint irányítják útjukat, és virágporra van szükségük? Az ő túlélésük nehezen magyarázható.”

És ott vannak a korallok. A túléléshez moszatokra van szükségük, a moszatoknak napfényre, és mindkettőnek állandó hőmérsékletre. Az utóbbi években sokat hallani olyan koralltelepekről, amelyek a tengervíz 1-2 fokos változásától pusztultak el. Ha ezek az állatok ilyen érzékenyek a hirtelen változásokra, hogyan élték túl a becsapódás utáni hosszú telet?

Egyes helyi eltéréseket is nehéz megmagyarázni. Sokkal több faj halt ki az északi féltekén, mint a délin. Új-Zéland állatai például alig sérültek, pedig ott alig élnek föld alatt lakó fajok. Még a növényzet nagy része is megmaradt, pedig máshol akkora tűzvészek tomboltak, hogy azt gondolnánk, a bolygó egyetlen része sem maradhatott ki. Egyszóval, sok mindent nem tudunk még.

Egyes állatok kifejezetten szaporodásnak indultak, például – megint csak meglepően – a teknősök. Flannery megjegyzése szerint a dinoszauruszok kihalását közvetlenül követő kort nyugodtan nevezhetnénk a teknősök korának. Tizenhat észak-amerikai faj élte túl, és nemsokára még három fejlődött ki.

Biztos, hogy sokat segített, ha egy állat otthona a víz volt. A KT-becsapódás a szárazföldi fajok 90%-át pusztította ki, az édesvízieknek pedig csak 10%-át. A víz nyilvánvalóan megvédte a benne lakókat a hőtől és a lángoktól, és valószínűleg több táplálékot biztosított az utána következő ínséges időkben. Minden túlélő szárazföldi állatnak megvolt a szokása, hogy veszély idején visszahúzódik a vízbe vagy a föld alá, ahol védelmet remél a kinti pusztítástól. A dögevők szintén jó helyzetben voltak. A gyíkok nagyjából immúnisak a rothadó tetemekben tenyésző baktériumokkal szemben, sőt gyakran kifejezetten vonzódnak hozzájuk, és ilyenekben hosszú ideig nem szenvedtek hiányt, hiszen a világ sokáig tele volt bűzlő hullákkal.

Gyakran hallani azt a téves állítást, hogy csak kis méretű állatok élték túl a KT-eseményt. Pedig a túlélők között voltak krokodilok, méghozzá háromszor akkorák, mint a maiak. Annyi azonban igaz, hogy a túlélők többsége kicsi és rejtőzködő életmódú volt. Egy sötét, barátságtalan világban ez volt a legjobb taktika: legyél kicsi, melegvérű, éjszaka vadászó, sokféle táplálékon megélő, és óvatos természetű; egyszóval olyan, mint emlős őseink. Ha az evolúció magasabb fokán álltunk volna, valószínűleg nem éljük túl. Így viszont az emlősök hirtelen olyan világban találták magukat, amely nagyon is megfelelt igényeiknek.

Nem kell azt gondolnunk, hogy az emlősök ekkor hirtelen előretörtek, hogy kitöltsék a megüresedett helyeket. Steven M. Stanley őslénybiológus erről ezt írta: „Lehet, hogy az evolúció is irtózik a vákuumtól, de biztos, hogy nem nagyon siet a betöltésével." Óvatosságból az emlősök még körülbelül tízmillió éven át kicsik maradtak. A negyedkor elején egy hiúz méretű állat már király lehetett.

De amikor az emlősök egyszer csak nőni kezdtek, nem volt megállás; egyesek nevetségesen nagyok lettek. Egy ideig orrszarvú méretű tengerimalacok és kétemeletes háznyi orrszarvúk dübörögtek a Földön. Ha a táplálékláncban üres hely adódott egy ragadozónak, az emlősök azt azonnal betöltötték. Az ősi mosómedvecsaládok Dél-Amerikába vándoroltak, mert ott éppen hiányzott egy ragadozó, és ott medve méretű és vadságú élőlények lettek belőlük. A madarak is aránytalanul megnőttek.

Több millió éven át egy *Titanis* nevű, hatalmas, repülni képtelen, húsevő madár volt Észak-Amerika legfélelmetesebb ragadozója. Ez volt a valaha élt legrettenthetetlenebb madár. Három méter magas volt, több mint 350 kilogrammos, és a csőrével gyakorlatilag bármit le tudott szakítani, ami nem tetszett neki. Rettenetes családja ötvenmillió éven át uralkodott, de csak 1963 óta tudjuk, hogy létezett; ekkor találták meg egy példány csontvázát Floridában.

Itt kell megemlítenünk a fajkihalások okával kapcsolatos bizonytalanságunk egy másik magyarázatát: az őskövületek nem adnak pontos képet az ősállatokról. Már volt róla szó, hogy milyen kis esélye van egy csontváz megkövülésének, de ennél még sokkal rosszabb a helyzet. Gondoljunk például a dinoszauruszokra. A természetrajzi múzeumokat látogatva azt hihetnénk, mindenütt bőségesen találni dinoszaurusz-őskövületeket. Valójában a múzeumokban legtöbbször nem eredeti csontokat mutatnak be. A Londoni Természettudományi Múzeum előcsarnokában pompázó hatalmas *Diplodocus*, amelyet annyi látogató csodált már meg és tanulmányozott, teljes egészében gipszből készült. 1903-ban Pittsburghben építtette Andrew Carnegie, és a múzeumnak ajándékozta. A New York-i Amerikai Természettudományi Múzeumban még lenyűgözőbb csoportkép fogadja a látogatót: egy nagy *Barosaurus*-csontváz védi meg kisdedét egy rárontó, sokfogú *Allosaurus*tól. Csodálatos, megkapó múzeumi tárgy – a *Barosaurus* 9 méter magasra nyúlik a mennyezet felé –, de sajnos szintén nem valódi. A három őslény több száz csontját mind ember készítette. És a világ bármelyik nagy természetrajzi múzeumának – legyen az Párizsban, Bécsben, Frankfurtban, Buenos Airesben vagy Mexikóvárosban – őslénycsontvázai mind modellek, nem eredeti csontok.

Valójában nem is tudunk túl sokat a dinoszauruszokról. Az úgynevezett dinoszaurusz-korszakból kevesebb mint ezer fajt ismerünk (ezeknek több mint feléből csak egy-egy példányt találtak), ami körülbelül negyedannyi, mint a ma élő emlősfajok száma. A dinoszauruszok ugyanakkor vagy háromszor annyi ideig uralták a Földet, mint az emlősök, tehát vagy a dinoszauruszok voltak különlegesen fajszegények, vagy az egész ügynek még csak a felszínét kapirgáljuk (talán szó szerint is).

A dinoszauruszkornak vannak több millió éves korszakai, amelyekből még egyetlen őskövület sem került elő. Még a kréta kor végén élt fajoknak is talán csak a negyedét ismerjük, pedig ez a legjobban feltérképezett földtörténeti kor. Lehet, hogy a *Diplodocus*nál is terjedelmesebb, és a Tyrannosaurusnál is ijesztőbb állatok több ezer példányos csapatai tartották rettegésben a kor többi állatát, csak nem tudunk róla. A tudósok nemrég még csak mintegy háromszáz, tizenhat különböző fajhoz tartozó példány őskövületei alapján következtettek a dinoszauruszok világára. Mivel ilyen kevés lelet állt rendelkezésre, elterjedt nézet lehetett, hogy a dinoszauruszok már kihalófélben voltak a KT-becsapódáskor.

Az 1980-as évek végén a Milwaukee Állami Múzeum egyik őslénykutatója, Peter Sheehan elvégzett egy kísérletet. Kétszáz önkéntessel gondosan átnézte a híres montanai Hall Creek képződmény egyik jól meghatározott és már százszor végigkutatott területét. Lelkiismeretesen átrostálták a talaj

megfelelő részét, és összeszedtek minden kis fogat, csigolyát és más csontdarabkát, tehát mindent, ami az előző ásatásokból fennmaradt. Három éven át dolgoztak. Amikor befejezték, kiderült, hogy munkájuk eredményeképpen az egész bolygón ismert, kréta kor végi dinoszaurusz-őskövületek száma több mint háromszorosára nőtt. A keresésből kiderült, hogy a dinoszauruszok száma változatlanul magas maradt egészen a KT-becsapódásig. Sheehan beszámolója szerint: „Nincs okunk feltételezni, hogy a kréta kor utolsó hárommillió évében fokozatosan kihaltak."

Annyira megszoktuk, hogy elkerülhetetlenül mi vagyunk a domináns faj, hogy nehezen hihető, hogy ezt csak jól időzített, a Földön kívülről jövő robbanásoknak és más szerencsés eseményeknek köszönhetjük. A mai élőlények és az ember közös vonása, hogy őseink majdnem négymilliárd éven keresztül sikeresen átcsúsztak az éppen bezáruló ajtókon. Stephen Jay Gould ezt a következő jól ismert, tömör mondattal fejezi ki: „A mai emberek azért élhetnek, mert a hozzánk vezető sor soha nem tört meg – egyszer sem, pedig milliárd alkalom lett volna, hogy ne kerüljünk be a történelembe."

A fejezet három állítással kezdődött: az élet élni akar; az élet nem mindig törekszik magasra; az élet néha kihuny. Ehhez most hozzátehetjük a negyediket: az élet megy tovább. Méghozzá, mint hamarosan látni fogjuk, gyakran tagadhatatlanul bámulatos módon.

23.
A LÉT GAZDAGSÁGA

A Londoni Természettudományi Múzeum egyes helyein, a homályos folyosók kiugróiban vagy két ásványokkal és strucctojásokkal tele vitrin között, és más, százéves rendetlen összevisszaság közepén titkos ajtók nyílnak. Legalábbis abban az értelemben titkosak, hogy a látogatónak semmi oka nincs észrevenni őket. Néha, ritkán, meglátunk egy őrült tekintetű és szanaszét álló hajú tudóst, amint kilép egy ilyen ajtón, végigsiet a folyosón, hogy valamivel később feltehetőleg eltűnjön egy másik ajtó mögött. Az ajtók legtöbbször csukva maradnak, és a látogató nem is sejti, hogy mögöttük van egy másik, mondhatni párhuzamos Természettudományi Múzeum, ami ugyanolyan hatalmas, de sok szempontból érdekesebb, mint a látogatók által ismert és szeretett kiállítások.

A Természettudományi Múzeumban mintegy hetvenmillió tárgy van az élet minden területéről, a bolygó minden sarkából, és a gyűjtemény évente körülbelül százezer újabb példánnyal bővül, de az ember csak a színfalak mögött fogja fel, hogy micsoda kincsesbányába került. A szekrényekben, tárlókban és hosszú, végig bepolcozott falú termekben több tízezer preparált állat van üvegekben, több millió rovar négyzet alakú kártyákra feltűzve, sokfióknyi fényes puhatestű, dinoszauruszcsontok, ősemberkoponyák és végtelen számú dosszié, bennük gondosan préselt növényekkel. Kicsit olyan, mintha az ember Darwin agyában kóborolna. Csak az „alkoholszobában” majdnem 25 kilométernyi polc van, rajtuk megszámlálhatatlan üveg, bennük denaturált szeszben konzervált állatok.

Itt vannak Joseph Banks Ausztráliában gyűjtött példányai, az Alexander von Humboldt találta Amazonas-vidéki leletek, Darwin *Beagle*-expedíciójának eredményei és sok minden más, ami nagyon ritka, vagy történelmileg érdektelen, esetleg mindkettő. Sokan szeretnék ezekre rátenni a kezüket, és van is, akinek sikerült. 1954-ben a múzeum egy kiemelkedő madártani gyűjteményt kapott egy buzgó gyűjtő, Richard Meinertzhagen, az Arab országok madárvilága és más tudományos munkák szerzője hagyatékából. Meinertzhagen évek óta hűségesen, szinte naponta látogatta a múzeumot, hogy jegyzeteket készítsen könyveihez és monográfiáihoz. Amikor a ládák megérkeztek, a múzeumőrök izgatottan felfeszítették őket, hogy kiderüljön, mit kaptak, de legnagyobb csodálkozásukra felfedezték, hogy a legtöbb példány a múzeum saját címkéit viseli. Mint kiderült, Mr. Meinertzhagen évek óta dézsmálta a múzeum gyűjteményét. Most már értették, miért viselt még nyáron is hosszú felöltőt.

Néhány évvel később rajtakaptak egy kedves, régi látogatót – a teremőrök csak „disztingvált úriemberként” meséltek róla – a puhatestűek osztályán, amint éppen értékes tengeri kagylókat dugott el járókerete üreges részeibe.

– Nem hiszem, hogy volna olyan tárgyunk, amit senki nem szeretne megszerezni – mondta Richard Fortey elgondolkodva, amikor körbevezetett a múzeum „színfalak mögötti”, csodálatos világában. Zavarba ejtően sok osztályon haladtunk át, ahol nagy asztaloknál ülő emberek elszánt kutató tevékenységet végeztek ízeltlábúakkal, pálmalevelekkel és nagy dobozokba csomagolt elsárgult csontokkal. A légkörből sugárzott a ráérős alaposság, hiszen az itt végzett hatalmas munkát soha nem lehet befejezni, ezért nem is érdemes vele sietni. Olvastam, hogy a múzeum 1967-ben adta ki jelentését John Murray Indiai-óceánra irányuló expedíciójáról, amelynek akkor már negyvennégy éve vége volt. Ebben a világban a dolgok a saját ritmusukban haladnak, még a kis lift is, amelyben Forteyval és egy tudós kinézetű idősebb úrral utaztunk, akivel Fortey szívélyesen és meghitten elbeszélgetett, amíg felfelé halad-

tunk körülbelül olyan sebességgel, ahogyan az üledékek lerakódnak.

Amikor a férfi kiszállt, Fortey megszólalt:

– Norman nagyon kedves fickó; negyvenkét éven át tanulmányozott egyetlen növényfajt, a Szent János füvét (más néven: orbáncfű). 1989-ben ment nyugdíjba, de még minden héten bejön.

– Hogyan lehet negyvenkét évet eltölteni egyetlen növényfajjal? – kérdeztem.

– Figyelemre méltó, igaz? – válaszolta Fortey, és egy pillanatra elgondolkodott. – Úgy látszik, nagyon alapos.

Kinyílt a liftajtó, de láttuk, hogy a nyílás be van falazva. Fortey összezavarodott.

– Nagyon furcsa – mondta. – Régebben itt volt a Növénytani Osztály. Megnyomta egy másik emelet gombját, és végül hátsó lépcsők és diszkrét birtokháborítások után, amelyek során további varázslatos osztályokon vágtunk át, ahol már régen halott tárgyakat vizsgáltak lassan, alaposan és szeretettel, eljutottunk a Növénytani Osztályra. Itt ismertem meg Len Ellist és a mohák csendes világát.

Amikor Emerson költőien megjegyzi, hogy a moha a fatörzsek északi oldalát kedveli, akkor valójában zuzmóra gondol, hiszen a XIX. században nem tettek különbséget a kettő között. A valódi moha nem nagyon válogat, hogy melyik oldalon nőjön, tehát nem alkalmas iránytűnek. Valójában másnak sem. Henry S. Conard ezt írja *How to Know the Mosses and Liverworts* (Hogyan ismerjük fel a mohákat és máj mohákat) című könyvében (talán egy kicsit szomorkásan): „Lehet, hogy a moha a leghaszontalanabb növény, mind kereskedelmi, mind gazdasági szempontból.” A könyvet 1956-ban adták ki, és a legtöbb könyvtárban ez az egyetlen mű ebben a tárgykörben.

Pedig mindenütt burjánzik. Még ha a zuzmókat nem is számítjuk, akkor is rengeteg moha van, több mint tízezer faj mintegy hétszáz nemzetségben. A. J. E. Smith vaskos és tekintélyes, *Moss Flora of Britain and Ireland* (Britannia és Írország mohái) című könyve hétszáz oldalas, pedig Britannia és Írország még csak nem is a legmohásabb helyek.

– Igazán sokfélét a trópusokon találni – mondta nekem Len Ellis. Ellis csendes, szikár ember; már huszonhét éve dolgozik a Természettudományi Múzeumban; az osztályt 1990 óta vezeti.

– Ha az ember például ellátogat Malajzia esőerdőibe, könnyen talál új változatokat. Nemrég én is megtettem. Lenéztem a földre, és rögtön felfedeztem egy eddig még le nem írt fajt.

– Akkor tehát nem tudjuk, még hány fajt fedezhetünk fel?

– Nem bizony. Fogalmunk sincs róla.

Nem is gondolnánk, hogy hány ember van a világban, aki az életét ennyire egyértelműen visszafogott dolog tanulmányozásának szenteli, mégis több száz mohaszakértő van, akik imádják munkájukat.

– Igen – mondta Ellis –, az üléseink néha nagyon izgalmasak.

Kértem, hogy mondjon egy példát, miről szoktak vitatkozni.

– Például itt van egy kérdés, amelyet az ön honfitársa vetett fel mondta, halványan elmosolyodva, és kinyitott egy vastag kézikönyvet, amelyben megszámlálhatatlanul sok moha rajzát láttam, amelyek legjellegzetesebb tulajdonsága számomra az egymáshoz való végtelen hasonlóságuk volt.

– Ez – mondta, egy mohára mutatva – régebben egy nemzetség volt: *Drepanocladus*. Most valaki rájött, hogy három: *Drepanodadus*, *Warnstorfia* és *Hamatacoulis*.

– És ez nagy katasztrófa? – kérdeztem reménykedve.

– Nos, beláttuk, hogy tökéletesen igaza van. De minden gyűjteményt újra kellett rendezni, és a forgalomban lévő szakkönyveket is módosítani kell, ezért egy ideig egyesek morogtak.

A mohák rejtélyesek is tudnak lenni. Egy híres – mármint mohaszinten híres – esetnek egy *Hyophila stanfordensis* nevű szerény faj volt a főszereplője, amelyet először a kaliforniai Stanford Egyetem területén találtak meg, majd később látták, hogy Cornwall egy ösvénye mellett is tenyészik, de a kettő között sehol sem fordul elő. Csak találgatni lehet, hogy ez hogyan lehetséges.

– Ma a faj neve *Hennediella stanfordensis*. A rendszert ismét módosítani kellett.

Elgondolkodva bólogattunk.

Amikor új mohát találnak, azt össze kell hasonlítani minden meglévővel, hogy kiderüljön, ha valaki esetleg már korábban felfedezte. Utána hivatalos leírást és ábrákat kell róla készíteni, amelynek meg kell jelennie valamelyik tiszteletre méltó tudományos folyóiratban. Az egész általában fél éven belül elintézhető. A huszadik század nem volt a moharendszerezés legjobb évszázada. A legtöbb munkával az előző század hibáinak kijavítása járt.

Ez volt a mohagyűjtés aranykora. (Talán emlékszünk, hogy Charles Lyell apja nagy mohaszakértő volt.) Egy találó nevű angol, George Hunt (már a neve is vadászt jelent) olyan serényen gyűjtötte a mohákat, hogy valószínűleg részese több faj kihalásának is. Mégis az ilyen erőfeszítések vezettek ahhoz, hogy Len Ellis gyűjteménye a világ egyik legteljesebb gyűjteménye legyen. 780 000 példánya van, mindegyik lepréselve, vastag papírra ragasztva, a legrégebbiek teleírva szarkalábas viktoriánus szöveggel. Lehet, hogy egyesek megfordultak Robert Brown nagy Viktória korabeli növénytudós kezében is. Igen, ugyanarról az emberről beszélünk, aki felfedezte a Brown-mozgást és a sejtmagot, és aki megalapította a múzeum növénytani részlegét, majd harmincegy éven át, 1858-ban bekövetkezett haláláig vezette is azt. A mohákat olyan gyönyörű, fényes, régi mahagónivitrinekben tartják, hogy meg kellett dicsérnem őket.

– Ó, azok Sir Joseph Bank sohói házából vannak – vetette oda Ellis, mintha csak egy IKEA-bútorról lenne szó. – Az *Endeavour*-expedíció leleteit tartotta benne. – Elgondolkodva nézegette a vitrineket, mintha először látná őket. – Nem tudom, hogyan kerültek a moharészlegre.

Ez a közlés mellbe vágott. Joseph Banks volt a legnagyobb angol növénytudós és az *Endeavour*-expedíció – ugyanaz, amelynek során Cook kapitány többek között feltérképezte a Vénusz 1769-es átvonulását, és mellesleg megszerezte Ausztráliát Anglia számára –, a történelem legnagyobb növénytani felfedezőútja. Banks 10 000 angol fontot (mai pénzben kb. 200 millió forintot) fizetett, hogy kilenc társával – egy természetbúvárral, egy titkárral, három festőművésszel és négy szolgával – együtt őket is elvigyék a hároméves, világ körüli útra. Nem tudhatjuk, a nyers modorú Cook kapitány hogyan bánhatott ezzel a nemes, elkényeztetett társasággal, de valószínű, hogy Banks szimpatikus volt neki, és nagyra becsülte növénytani eredményeit.

Sem korábban, sem azóta nem volt még ilyen sikeres növénykutató expedíció. Ez részben annak volt köszönhető, hogy új vagy kevéssé ismert helyeket kerestek fel, például a Tűzföldet, Tahitit, Új-Zélandot, Ausztráliát, Új-Guineát, de főleg annak, hogy Banks körültekintő és találékony gyűjtő volt. Még amikor nem tudott partra szállni Rio de Jane-iróban a karantén miatt, akkor is átnézett egy bála takarmányt, amelyet a hajó állatainak vásároltak, és ebben is új növényeket fedezett fel. Úgy látszik, semmi nem kerülte el a figyelmét. Harmincezer növényt hozott haza, ebből ezernégyszáz olyat, amilyet még senki nem látott azelőtt, és ezzel negyedével megnőtt a világ ismert növényeinek száma.

Banks növényei csak egy része voltak a szinte nevetséges módon gyűjtögető kor teljes zsákmányának. A XVIII. században a növénygyűjtés valóságos nemzetközi szenvedély lett. Az új fajok felfedezői hírnévre és kellemes anyagiakra számíthattak, és mind a tudósok, mind a kalandorok szinte bármit megtettek, hogy kielégítsék az új növényeket áhító világ igényeit. Thomas Nuttall, aki a glicíniát Cas-

par Wistar után nevezte el, csekély műveltségű nyomdászként érkezett Amerikába, de hamarosan szenvedélyesen érdeklődni kezdett a növények iránt, bejárta az országot és több száz új növényfajt gyűjtött. John Fraser, a Fraser-fenyő (nálunk karácsony előtt „normann fenyő" néven árulják) névadója éveket töltött a vadonban, hogy növényeket gyűjtsön Nagy Katalin cárnő számára. Visszatérve a civilizációba, döbbenten fedezte fel, hogy Oroszországnak új cárja van, aki nem hajlandó betartani az elődjével kötött szerződést. Fraser mindent Chelsea-be vitt, ahol faiskolát nyitott, és szépen meggazdagodott rododendronok, azáleák, magnóliák, vadszőlők, őszirózsák és más gyarmati egzotikumok árusításából, amelyekre az angol nemesség jó vevő volt.

Aki rátalált a megfelelő növényekre, sokat keresett. John Lyon amatőr botanikus két nehéz, veszélyes évet töltött növénygyűjtéssel, de a végén majdnem félmilliárd mai forintnak megfelelő bevételre tett szert. Sokan azonban egyszerűen azért végezték, mert szerették a növényeket. Nuttall a talált növények legnagyobb részét a Liverpooli Botanikus Kertnek adta. Végül ő lett a Harvard botanikus kertjének igazgatója, és ő írta (sőt nagyrészt ő is szedte ki) a *Genera of North American Plants* (Az északamerikai növénynemzetségek) című lexikont is.

És akkor még csak a növényekről beszéltünk. Pedig ott volt az új világok gazdag állatvilága is: kenguruk, kivik, mosómedvék, hiúzok, szúnyogok és más érdekes teremtmények. Úgy látszott, a földi élet végtelenül sokszínű, ahogyan azt Jonathan Swift is megírta híres versében:

Tudós könyvekben ez áll:
Bolhát kisebb bolha zabál,
E kisebbet űzi hasonló fátum,
S így megy ez ad infinitum.

Az új eredményeket rögzíteni, rendszerezni kellett, és össze kellett vetni a már meglévőkkel. Itt volt az ideje, hogy valaki kitaláljon egy jól működő osztályozási rendszert. Szerencsére egy svéd tudós éppen ekkortájt lett kész a sajátjával.

Neve Carl Linné volt, amelyet később (engedély birtokában) az arisztokratikusabban csengő von Linnére változtatott. A nyugati országok tankönyveiben inkább nevének latin változata: Carolus Linnaeus szerepel. 1707-ben született a dél-svédországi Råshult faluban. Apja szegény, de nagyravágyó evangélikus lelkész volt. Carl annyira lusta diák volt, hogy felbőszült apja inasnak adta (más források szerint csak majdnem) egy foltozóvargához. Amikor az ifjú Linné szembesült vele, hogy hátralevő életében cipészszegeket fog bőrbe ütni, könyörgött, hogy adjanak neki még egy lehetőséget. Apja megkönyörült, és a fiú többé soha nem tért el választott útjáról, ami a tudomány felé vezetett. Orvostudományt tanult Svédországban és Hollandiában, bár legjobban a természetet szerette. Az 1730-as évek elején, tehát huszonéves korában elkezdte saját módszere szerint katalogizálni a világ növény- és állatfajait, aminek a híre egyre terjedt.

Nem sok embert zavart ilyen kevéssé önnön nagysága. Szabad idejében sok időt szentelt saját magasztalása írásba foglalásának; tőle származik az a vélemény is, hogy „soha nem élt még nagyobb növény- vagy állattudós", és rendszere „a tudomány legnagyobb eredménye". Szerényen megjegyezte, helyes lenne sírkövére a *Princeps Botanicorum* (A növénytan fejedelme) feliratot vésni. Soha nem volt jó ötlet megkérdőjelezni saját magáról alkotott véleményét, mert aki így tett, később egyszer csak azzal kellett szembesülnie, hogy Linné valamelyik gyomnövényfajt róla nevezte el.

Linné másik szembeszökő tulajdonsága az volt, hogy állandóan, már-már megszállottan a nemiség-

gel foglalkozott. Kedvenc témája a kagylók és a női szeméremtest hasonlósága volt. Az egyik kagylófaj részeit vulvának, szeméremajkaknak, ágyéknak, végbélnyílásnak és szűzhártyának nevezte el. A növényeket szaporítószerveik szerint csoportosította, és érdekes, antropomorf szerelmes természetet tulajdonított nekik. Amikor leír egy virágot és annak viselkedését, olyan kifejezéseket használ, mint: „szabad szerelem", „meddő ágyas" és „nászágy". Gyakran idézik a következő sorokat, amelyeket a tavaszról írt:

> A szerelem a növényeket is megérinti. A hímek és nőstények... nászukat tartják... és nemi szerveik alapján tudjuk, melyik melyik. A Teremtő által olyan nagyszerűen elrendezett virághlevelek alkotják a nászágyat, amelyen még függöny is van, és mennyeien illatozik, hogy a vőlegény és a menyasszony nászát még ünnepélyesebben tarthassa meg. Amikor az ágy elkészült, itt az idő, hogy a vőlegény megölelje imádott menyasszonyát, és átadja magát neki.

Az egyik fajt Clitoriának (csikló) nevezte el. Nem csoda, hogy sokan furcsán néztek rá. Osztályozási rendszere viszont valóban zseniális volt. Linné előtt a növényeknek terjengős, leíró neveket adtak. A közönséges zsidócseresznye neve *Physalis amno ramosissime ramis angulosis glabris foliis dentoserratis* volt, amelyet Linné *Physalis angulatá*ra rövidített; ma is így ismerjük. A növények világa áttekinthetetlen volt az elnevezések következetlensége miatt. A növényekkel foglalkozók nem tudhatták, hogy a *Rosa sylvestris alba cum rubore folio glabro* ugyanaz a növény-e, mint a *Rosa sylvestris modora seu canina*. Linné megoldotta a kérdést: a vadrózsa (vagy gyepű-, illetve csipkerózsa) neve legyen egyszerűen *Rosa canina*. Ahhoz, hogy ezek a kurtítások hasznosak és mindenki által elfogadhatóak legyenek, nem volt elég a határozottság. Különleges ösztön kellett hozzá – és ebben rejlett Linné zsenialitása –, hogy valaki rögtön eltalálja egy-egy faj jellemző tulajdonságait.

Linné rendszere annyira megalapozott, hogy nem is jutna eszünkbe másféleképpen csoportosítani az élővilágot, de előtte több igen képtelen rendszer is használatban volt. Az állatokat például rendezhetjük aszerint, hogy vadon vagy a ház körül élnek, szárazföldön vagy vízben, nagyok vagy kicsik, de akár az alapján is, hogy tetszenek-e nekünk vagy sem, illetve, hogy nemes vadnak vagy közönséges állatnak tartjuk-e őket. Buffon például aszerint osztályozta az állatokat, hogy mennyire hasznosak az ember számára; anatómiai szempontok nem zavarták rendszerét. Linné életcélja az volt, hogy kijavítsa ezeket a tévedéseket: minden élőlényt fizikai tulajdonságai alapján vett számba. A rendszertanból (taxonómia) sikeresen ki is irtotta az egyéb elemeket.

Ez természetesen hosszú időt vett igénybe. Nagy műve, a *Systema Naturae* (A természet rendszere) 1735-ben, első kiadásakor még csak tizennégy oldal terjedelmű volt. De ez egyre nőtt, és a tizenkettedik kiadás – ez volt az utolsó, Linné életében megjelent kiadás – már három kötetet foglalt el, 2310 oldalon. Összesen mintegy tizenháromezer növény- és állatfajt írt le és nevezett el. Vannak ennél átfogóbb munkák is; az angol John Ray háromkötetes *Historia Generalis Plantarum*a, amely egy nemzedékkel hamarabb keletkezett, csak növényből 18 625 fajt írt le, de Linné rendszere következetes volt, tökéletesen rendezett és ugyanakkor egyszerű. Bár a munkát az 1730-as években kezdte, Angliában csak az 1760-as években vált széles körben ismertté, és Linné egyszeriben az angol természetbúvárok atyja lett. Rendszerét itt fogadták a leglelkesebben (ez lehet az egyik oka annak, hogy a Linné Társaság székhelye London és nem Stockholm).

Linné nem volt hibátlan. Rendszerébe felvett mesebeli lényeket, és olyan „ember-szörnyeket", amelyeket tengerészek és más nagy képzelő-erejű utazók leírása alapján ismert. Ilyen volt például a vad-

ember, a *Homo ferus*, aki négy lábon jár, és nem tud beszélni, vagy a *Homo caudatus*, a farokkal bíró ember. Ne felejtsük azonban, hogy mindez egy nagyon hiszékeny korban történt. A XVIII. század végén még a nagy Joseph Banks is élénken érdeklődött, amikor hírül hozták, hogy többen sellőket véltek látni a skót partoknál. Linné számunkra már mulatságos tévedései nem számítanak hibátlan, ragyogó rendszerével megszerzett érdemei mellett. Többek között ő ismerte fel elsőként, hogy a bálnák ugyanoda tartoznak, mint a tehenek vagy az egerek: a korábban négylábúnak, ma már emlősöknek nevezett állatcsoportba.

Kezdetben Linné a növényeknek csak egy nemzetségnevet és egy számot adott: *Convovulvus 1, Convovulvus 2,* és így tovább, de hamarosan rájött, hogy ez nem elég, és bevezette a két szóból álló neveket, amelyeket ma is használunk. Eredetileg a természet minden megnyilvánulását – kőzeteket, ásványokat, betegségeket, szeleket – így nevezte volna el. A rendszert viszont nem mindenki fogadta szívesen. Többeket zavart az elnevezések illetlensége, ami kicsit különös, hiszen Linné előtt több állat és növény közönséges neve is kifejezetten vulgáris volt. A gyermekláncfüvet például „ágybapisálónak" hívták vizelethajtó hatása miatt, de használatban voltak olyan elnevezések is, mint például a *kancafing* (Jakab-napi aggófű), *pucér hölgyek* (olyan növények, amelyek lehullatják leveleiket, mielőtt virágoznának, például a hölgypáfrány), *nyitott segg* (szintén gyermekláncfüvet jelentett), *kutyahúgy* és *fenéktörlő*. Ezen régi megnevezések egyike-másika még mindig él a tájnyelvben. Az angolban még mindig használják a *szűzszőr* szót (például szűzszőrmoha), és biztosak lehetünk benne, hogy itt nem a leány karjának pihéiről van szó. Mindenképpen elvárás volt, hogy a természetrajz méltóságteljesebbé váljon az ilyen fajok átnevezésével, ezért többen megdöbbentek, amikor a botanika fejedelme rendszerében újra és újra felbukkant egy-egy *Clitoria, Fornicata és Vulva*.

Az évek során ezek egy részét csendben újranevezték (bár nem mindegyiket: a papucscsiga neve még mindig Crepidula fornicata), más részéről pedig felfedezték, hogy több fajba sorolható, és így szabadultak meg a kínos névtől. A rendszer csak még jobb lett, ahogyan bővült és finomodott. A nemzetség és faj kategóriákat Linné előtt már vagy száz évvel is használták, a biológiai értelemben vett rendet, osztályt és családot pedig az 1750-es és 60-as években vezették be. A törzset 1876-ban találta ki a német Ernst Haeckel. A család és a rend a XX. század elejéig egymás szinonimája voltak. Az állattudósok családot használtak, ahol a növénytudósok rendet, és ez meglehetősen zavaró volt.[74]

Linné hat részre osztotta az állatokat: emlősök, hüllők, madarak, halak, rovarok és férgek (ide került minden, ami nem fért be az első ötbe). Hamarosan rájöttek, hogy a homárt és a garnélarákot nem okos egy helyre sorolni a férgekkel, ezért bevezették például a puhatestűek és az ízeltlábúak törzsét. Sajnos, az újonnan kitalált kategóriákat nem minden országban fogadták el. Az angolok 1842-ben kitaláltak egy új szabályzatot (Strickland-szabályrendszer), de ez sértette a franciák önérzetét, és saját Állattani Társaságuk másikkal állt elő. Közben az Amerikai Madártani Társaság – máig homályos okokból – elhatározta, hogy Linné rendszertanának egy korábbi, 1758-as kiadására alapozza elnevezési rendszerét, és nem a mindenhol máshol használatos 1766-osra, s emiatt rengeteg amerikai madár más nemzetséghez tartozott a XIX. század során, mint európai rokonai. Csak 1902-ben, a Nemzetközi Állattani Konferencián mutatkoztak végre hajlandónak a természettudósok, hogy kiegyezzenek, és beletörődjenek egy egyetemes rendszer használatába.

A rendszertant egyesek tudománynak, mások művészetnek tekintik, valójában azonban egyikhez sem hasonlít jobban, mint egy csatatérhez. Még ma is elképesztően sok rendetlenség van a rendszerben. Nézzük például a törzs kategóriát. Ez választja el egymástól a testszerkezetükben alapvetően különbö-

ző élőlényeket. Vannak közismert törzsek, például a puhatestűek (pl. kagylók, csigák), az ízeltlábúak (pl. rovarok és rákok) vagy a gerinchúrosok (minden állat, amelynek előgerinchúrja vagy gerince van), de innen elég hamar egyre homályosabb területekre jutunk. Itt vannak például a Gnathostomulidák (tengeri férgek), a csalánozók (pl. medúzák, anemónák és korallok), és az érzékeny előgyűrűsférgek (péniszférgek). A fenti törzsek akár ismerősen hangzanak, akár nem, az élővilág alapvető kategóriáit takarják. Mégis valószínűtlenül sokféle elmélet van arról, hogy hány törzs létezik, vagy hánynak kellene lennie. A legtöbb biológus 30 köré teszi a számukat, de egyesek inkább húsz körül becslik, mások viszont – mint például Edward O. Wilson *The Diversity of Life* (Az élet sokfélesége) című könyvében – azt állítják, nyolcvankilenc törzs van. E szám nagysága attól függ, hogy mennyi különbözőséget engedünk meg egy törzsön belül, vagyis, ahogyan a biológusok mondani szokták, inkább „bepakolós" vagy „szétválogatós" hajlamú-e a válogatást végző illető.

A fajok hétköznapibb szintjén még több vitatható kérdés merül fel. Az, hogy egy fűfaj helyes neve vajon *Aegilops incurva, Aegilops incurvata* vagy *Aegilops ovata*, a kívülállókban nem sok szenvedélyt korbácsolna fel, de a megfelelő partnerek között parázs vitát eredményezhet. Az a gond, hogy körülbelül ötezer fűfaj van, és ezek közül sok roppantul hasonlít egymáshoz, még akkor is, ha szakember vizsgálja. Így lehetséges, hogy egyes fajokat legalább hússzor megtaláltak és elneveztek, sőt szinte nincs is olyan, amelyiknek ne lenne legalább két különböző neve. A kétkötetes *Manual of the Grasses of the United States* (Az Egyesült Államok fűfajainak kézikönyve) kétszáz sűrűn teleírt oldalon át birkózik a hasonmások elkülönítésével (így nevezik a biológusok, amikor valamit véletlenül kétszer, egymástól függetlenül, azonosítottak be). És akkor még csak egyetlen ország füveiről beszéltünk.

A világméretű viták döntőbírósága a Nemzetközi Növényrendszertani Társaság (IAPT – International Association for Plant Taxonomy); ez foglalkozik azzal, hogy az egyes fajokat ki fedezte fel először, illetve, hogy mi a helyes nevük. Határozatokat hoz, például azt, hogy a *Zauschneria californica* (Amerikában gyakori sziklakerti növény) neve mostantól *Epilobium canum* lesz, vagy hogy az *Aglaothamnion tenuissimum* nem ugyanaz a faj, mint az *Aglaothamnion byssoides*, viszont megegyezik az *Aglaothamnion pseudobyssoidesszel*. Általában ezek az apró változtatások nem keltenek nagy figyelmet, de amikor kedvelt kerti növényekről van szó, akkor elkerülhetetlen, hogy ez egyeseket fájdalmasan érintsen. Az 1980-as évek végén a közönséges krizantémot (nyilvánvalóan tudományosan megalapozott okból) száműzték az azonos nevű nemzetségből, és áthelyezték az unalmas nevű *Dendranthema* nemzetségbe.

A krizantémtermesztők büszke emberek, és sokan vannak; azonnal tiltakoztak a valószínűtlen nevű Magvasnövény-ügyi Bizottságnál. (Van haraszt-, moha- és gombaügyi bizottság is, amelynek a feje egy-egy általános előadó; az intézmény egy gyöngyszem.) Bár az elnevezés szabályait elvileg szigorúan érvényesíteni kell, a botanikusok is érző szívű emberek, és 1995-ben megmásították a döntést. Hasonló ítélet mentette meg a „lefokozástól" a petúniát, a kecskerágót és egy népszerű hölgyliliomfajt, viszont a muskátli több fajának nem sikerült megmenekülnie: sokak őszinte bánatára átkerült a *Pelargonium* (gólyacsőrfélék) nemzetségbe. A vitákat élvezetesen írja le Charles Elliott *The Potting-Shed Papers* (A melegházi akták) című könyvében.

Hasonló vitákról és újraosztályozásokról lehetne beszámolni az élővilág más területein is, ezért nem lehet naprakészen tudni, hány más élőlénnyel osztjuk meg bolygónkat. Így állhat elő az a furcsa helyzet, hogy fogalmunk sincsen a fajok számának „még csak a nagyságrendjéről sem" (Edward O. Wilson szavai). Valószínűleg több mint hárommillió, és kevesebb mint kétszázmillió faj létezik. A *The Economist* egyik cikkében még ennél is rendkívülibb állítást találtam: a világ növény- és állatfa-

jainak 97%-át még nem fedeztük fel.

Az ismert élőlényeknek több mint 99%-áról is csak vázlatos képünk van „egy tudományos név, pár egyed múzeumi vitrinekben, néhány bekezdés tudományos folyóiratokban” – Wilson így látja jelenlegi tudásszintünket. *The Diversity of Life* című könyvének becslése szerint 1,4 millió ismert faj (növények, rovarok, mikrobák, moszatok, minden) van, de nem állítja, hogy ez pontos szám. Mások szerint az ismert fajok száma inkább 1,5 és 1,8 millió között lehet, de mivel nincsen olyan központ, ahol ezeket a dolgokat mind feljegyeznék, a számot nem lehet pontosan megállapítani. Röviden szólva, még azt sem tudjuk, hogy mi az, amit már tudunk.

Elvileg az egyes területek szakértői megmondhatnák, hogy ők az adott területen hány fajt ismernek, és összeadhatnánk a kapott számokat. Sokan megpróbálták már. A gond az, hogy úgy látszik, az egyes területek fajainak száma attól függ, melyik szaktekintélyt kérdezzük. Volt, aki hetvenezer ismert gombafajról számolt be, mások százezerről. Egyesek magabiztosan állítják, hogy a leírt földigilisztafajok száma négyezer, mások ugyanilyen nyugodtan mondják, hogy tizenkétezer. A rovarfajok száma 750 000 és 950 000 között mozog. És itt most csak az ismert fajokról beszélünk. 248 000 és 265 000 közötti számú növényfajunk van. A különbség nem tűnik túl nagynak, amíg nem szembesülünk vele, hogy hússzor akkora, mint az észak-amerikai virágos növények száma.

A dolgokat mindig rendbe tenni a legnehezebb. Az 1960-as évek elején Colin Groves, az Ausztrál Állami Egyetem munkatársa módszeresen vizsgálni kezdte az akkor ismert több mint 250 főemlőst. Több faj esetében is kiderült, hogy kétszer vagy többször is leírták, mert nem jöttek rá, hogy a tudomány által már ismert állattal van dolguk. Grovesnak negyven évbe telt a szálak kibogozása, és ő csak egy viszonylag kis csoport könnyen felismerhető, vitára általában okot nem adó állattal foglalkozott. Ki tudja, milyen eredménnyel járna, ha valaki ugyanezt megkísérelné a bolygó körülbelül húszezer zuzmó-, ötvenezer puhatestű vagy legalább négyszázezer bogárfajával.

Az biztos, hogy az élővilág igen gazdag, bár hogy pontosan mennyire is, azt csak az ismert adatok kivetítésével becsülhetjük meg, és gyakran nagyon durva becsléseket kapunk. Az 1980-as években Terry Erwin, a Smithsonian Intézet munkatársa, egy híres kísérletet végzett. Panama egyik esőerdőjében tizenkilenc fát bepermetezett rovarirtóval, és hálókkal összegyűjtötte a koronából lehulló állatokat. Fogásában (sőt fogásaiban, mert a kísérletet több évszakon át újra elvégezte, hogy a költöző fajok se maradjanak ki) kétszáz bogárfaj volt. Feltételezve a máshol élő bogarak adott eloszlását, az erdő többi fájának faját, a világ erdőinek számát, a más típusú rovarok számát, és így tovább, még sok változó értéket, kiszámította, hogy a bolygón harmincmillió rovarfaj lehet, de később azt nyilatkozta, hogy ennél valószínűleg több. Mások ugyanezeket, vagy hasonló adatokat használva egészen más eredményre jutottak: 13 millió, 80 millió vagy 1 milliárd rovarfajt becsültek, de mindenki hangsúlyozta, hogy az adatok kiszámításakor sok feltételezést használtak.

A *Wall Street Journal* szerint a világon „körülbelül tízezer ember foglalkozik rendszertannal” – ez nem is olyan sok, ha arra gondolunk, mennyi mindennel kell foglalkozniuk. De, mint a lap megjegyzi, a költségek (fajonként mintegy félmillió forint) és az adminisztráció miatt évente csak mintegy tizenötezer új fajt jegyeznek be.

– Nem a biodiverzitás (a biológiai sokféleség) van válsághelyzetben, hanem a taxonómusok! – mondta mérgesen Koen Maes, a Nairobi Kenyai Nemzeti Múzeum gerinctelen részlegének belga származású vezetője, akivel 2002 őszén Kenyában beszélgettem. Egész Afrikában nincsen egyetlen kifejezetten rendszertannal foglalkozó tudós sem.

– Volt valaki Elefántcsontparton, de azt hiszem, már nyugdíjba ment – mondta. Egy taxonómus ki-

képzése nyolc-tíz évig tart, és utána nem Afrikába jönnek.

– Igazi őskövületnek számítanak – mondta Maes. Ő maga is befejezi a munkát az év végén. Hét évet töltött Kenyában, és a szerződését nem újítják meg.

– Nincs pénz – magyarázta.

G. H. Godfray brit biológus néhány hónappal korábban írt egy cikket a *Nature* magazinba, és megjegyezte, hogy a rendszertan mindenhol „krónikus tekintély- és fedezethiányban szenved". Ezért „sok fajt nem megfelelően írnak le helyi lapokban, és az új taxont[75] meg sem próbálják a meglévő fajokhoz képest elhelyezni a rendszerben". És a rendszertannal foglalkozók a legtöbb időt nem az új fajok leírásával töltik, hanem a régiek kibogozásával. Godfray szerint sokan „pályájuk legnagyobb részében a XIX. századi taxonómusok munkáját próbálják értelmezni; felülvizsgálják gyakran hibás fajleírásaikat, és átkutatják a világ múzeumait a még meglévő példányokért, amelyeket viszont gyakran igen rossz állapotban találnak". Godfray különösen azt hangsúlyozta, hogy a rendszertanban milyen kevéssé használják ki az internet adta lehetőségeket. Ez a tudományág furcsa módon, mindent összevéve, még mindig papíralapú.

2001-ben Kevin Kelly, a *Wired* magazin egyik alapítója megpróbálta a dolgokat modernizálni, és elindított egy All Species (Minden faj) nevű alapítványt, amelynek célja valamennyi faj megkeresése és adatbázisba rendezése. A vállalkozás költsége legalább 1,3 milliárd angol font, de egyes becslések szerint elérheti akár a 30 milliárdot is. 2002 tavaszán csak 750 000 fontjuk volt, és négy teljes munkaidőben dolgozó alkalmazottjuk.

Ha a becslések pontosak, még körülbelül százmillió rovarfajt kell megtalálnunk, és ha a mai ütemben fedezünk fel újakat, akkor ezzel készen is leszünk alig több mint tizenötezer év alatt. Lehet, hogy a többi állat megtalálása ennél még hosszabb időbe telik.

Hogyan lehetséges az, hogy ilyen keveset tudunk? Ennek majdnem olyan sok oka van, mint ahány állat felfedezésre vár. Itt csak a négy fő okot említem meg.

A legtöbb élőlény kicsi, ezért nem könnyű észrevenni. A gyakorlati életben ez nem mindig baj. Lehet, hogy rosszabbul aludnánk, ha tudnánk, hogy matracunk egyben mintegy kétmillió mikroszkopikus atka otthona is, és ezek éjszaka lakmároznak a faggyúmirigyeink kiválasztotta olajokból és az éjszakai forgolódásunk során lehullatott bőrdarab-káinkból. Csak a párnánkban van vagy negyvenezer ilyen. (Számukra a fejünk egy nagy, zsíros gubanc.) És ne higgyük, hogy a dolog megoldható egy tiszta párnahuzattal! Az ágyban élő atkák számára a legszorosabban szőtt szövet is olyan, mint nekünk, mondjuk, egy hajó vitorlakötélzete. Ha a párnánk hatéves (ez a párnák átlagéletkora), akkor tömegének egytizedét „levedlett bőrünk, élő és halott atkák és azok ürüléke" teszi ki. Ezt dr. John Maunder mérte meg a Brit Orvosi Rovartani Központban. (De ezek legalább a saját atkáink. Gondoljunk csak arra, hová fekszünk le, amikor szállodában alszunk...)[76] Az atkák emberemlékezet óta együtt éltek velünk, de csak 1965 óta tudunk létezésükről.

Ha a velünk ilyen közeli kapcsolatban élő lényeket nem találtuk meg a színes televízió felfedezése előtt, akkor nem meglepő, hogy a parányok világának legnagyobb részét alig ismerjük. Ha kimegyünk egy erdőbe – bármilyen erdőbe –, és felveszünk egy marék földet, abban akár tízmilliárd baktérium is lehet, amelynek legnagyobb részét a tudomány nem is ismeri. Lesz benne vagy egymillió dundi élesztőgomba, kétszázezer szőrös kis penészgomba vagy tízezer véglény (protozoon, ezek közül a legismertebb az amőba), és különféle kerekes-, lapos- és orsóféreg és más mikroszkopikus állatok, amelyekre a kriptozoa (rejtett állatok) gyűjtőnevet szokták alkalmazni. Ezeknek egy nagy részét szintén nem is-

merjük.

A mikroorganizmusok legátfogóbb kézikönyve Bergey rendszeres bakteriológiai műve négyezer baktérium felsorolásával.

1980-ban két norvég kutató, Jostein Goksoyr és Vigdis Torsvik Bergenben lévő laboratóriumuk közelében a tengerpartról hozott 1 gramm homokot, és gondosan megvizsgálták a benne élő baktériumokat. Négy-vagy ötezer különféle baktériumfajt találtak benne, tehát többet, mint ahány a legjobb kézikönyvben le van írva. Utána elmentek a part egy kicsit távolabbi helyére, és ennek vizsgálatából kiderült, hogy ebben négy- vagy ötezer másféle baktériumfaj van. Edward O. Wilson: „Ha a Norvégia két különböző helyéről származó két csipet szubsztratoszférában több mint 9000 mikrobafaj él, vajon hányat találnánk még jobban különböző élőhelyeken?" Egy becslés szerint lehet, hogy négyszázmilliót.

Rossz helyen keressük az élőlényeket. Wilson könyvében leírja, hogy egy növénytudós néhány nap alatt bejárta egy borneói őserdő tízhektáros területét, és ezer új virágosnövény-fajt talált – többet, mint amennyi Észak-Amerikában összesen él. Növényeket nem nehéz találni, csak ott éppen még senki nem kereste őket. Koen Maes, a Kenyai Nemzeti Múzeum munkatársa elmesélte, hogy elment egy „köderdőbe" (így hívják a kenyai hegytetők erdeit), és egy fél óra alatt, különösebb keresgélés nélkül, négy új százlábú fajt talált, amelyekből három eddig ismeretlen nemzetségbe tartozik, és egy új fajú fát. – Nagy fát! – tette még hozzá, karjait behajlítva, mintha hatalmas táncpartnerét ölelné át. A köderdők a fennsíkok tetején, helyenként évmilliók óta érintetlen területen nőnek. – Itt kiváló az éghajlat az élővilág burjánzására, de még nem sokan tanulmányozták – mondta.

A trópusi esőerdők a Föld felületének 6%-át borítják, de itt él az állatok körülbelül fele, a virágos növényeknek pedig kétharmada – és ezeket az élőlényeket nem ismerjük, mert a kutatók nem jutnak el ide. Nem elhanyagolható szempont, hogy ezzel hatalmas értékekről mondunk le. A virágos növényeknek például még 99%-át nem vizsgálták meg gyógyhatás szempontjából. Mivel a növények nem tudnak elmenekülni az őket elfogyasztani szándékozók elől, bonyolult vegyi módszereik vannak az állatok távoltartására, ezért sok érdekes összetevőjük van. Az összes receptköteles gyógyszer negyedét még ma is összesen negyvenféle növény anyagainak segítségével állítják elő, másik 16%-ot pedig állati vagy mikroba eredetű anyagok felhasználásával. Ebből a számból sejthetjük, hogy milyen gyógyászati lehetőségeket kockáztatunk minden egyes hektárnyi erdő kivágásával. A kombinatorikus vegyészet nevű módszerrel ugyan laborban elő lehet állítani egyszerre 40 000 vegyületet, de ezek véletlenszerűek, és legtöbbször semmire sem jók, míg a természetben előforduló molekulák már átmentek „a végső rostán: három és fél milliárd évnyi evolúción" (*The Economist*).

Ugyanakkor nem feltétlenül kell messze utaznunk, ha ismeretlen növényeket keresünk. Richard Fortey *Life: An Unauthorized Biography* (Az élet: Egy nem hivatalos életrajz) című könyvében feljegyzi, hogyan találtak egy ősi baktériumot egy vidéki kocsma falán, „ahová több nemzedéknyi férfi járt vizelni" – a felfedezéshez ritka sok szerencse és odaadás kellett, és talán más is, amit itt most nem állnék neki részletezni.

Nincsen elég specialista. A megtalálandó, megvizsgálandó és feljegyzendő dolgok sokkal többen vannak, mint az ezek megtételére alkalmas szakemberek. Vegyük például a szívós, kevéssé ismert kerekesféreg *Bdelloidea* osztályát. Ezek a mikroszkopikus állatok szinte bármit túlélnek. Ha rossz körülmények közé kerülnek, összegömbölyödnek, anyagcseréjüket minimálisra csökkentik, és várják a jobb időket. Ebben az állapotban forralhatjuk vagy fagyaszthatjuk őket (akár az abszolút nulla fok kö-

zelébe, ahol az atomok mozgása is már megszűnőben van), de ha ismét normális hőmérsékletű, kedvező helyre kerülnek, kibontakoznak, és mennek tovább, mintha mi sem történt volna. Eddig körülbelül 500 fajukat azonosították (más források szerint 360-at), de senki nem tudja, még csak közelítőleg sem, hogy összesen hány lehet belőlük. Éveken keresztül szinte csak annyit tudtunk róluk, amit egy lelkes amatőr, David Bryce londoni irodai dolgozó fedezett fel a szabad idejében. A világon mindenhol előfordulnak, mégis meghívhatnánk vacsorára a világ minden velük foglalkozó tudósát anélkül, hogy a szomszédból tányérokat kellene kölcsönkérnünk.

Még az olyan fontos és mindenütt előforduló élőlények, mint a gombák is viszonylag kevés figyelmet kapnak. Gombát találunk mindenhol, mindenféle formában: kalapos gombát, penészgombát, peronoszpórát, élesztőgombát és pöfeteggombát, hogy csak néhányat említsünk, és nem is sejtenénk, milyen sokat. Ha egy közönséges egyhektáros réten összegyűjtenénk az összes gombát, 2 800 kilogrammot kapnánk. Tehát nem elhanyagolható élőlények. A gombák nélkül nem lenne burgonyavész, parásszilfa-betegség, ágyékviszketés és gombás láb, viszont nem lenne joghurt, sör és sajt sem. Körülbelül hetvenezer gombafajt ismerünk, és a fajok száma becslések szerint akár 1,8 millió is lehet. Sok mikológus dolgozik az iparban, akik sajtokat, joghurtokat és más, gombák segítségével előállított élelmiszereket készítenek, ezért nehéz megmondani, hogy hányan foglalkoznak kutatással, de annyi biztos, hogy több gombafaj létezik, mint ahányan keresik őket.

A világ nagy. A kényelmes légi közlekedés és a sokféle modern kommunikációs lehetőség könnyen abba a tévhitbe ejtheti az embert, hogy kicsi a világ, de a föld szintjén, ahol a kutatók dolgoznak, hatalmas – elég nagy ahhoz, hogy tele legyen meglepetésekkel. Ma már tudjuk, hogy az okapi, a zsiráf legközelebbi élő rokona nagy számban (kb. 30 000-es populáció) él Zaire esőerdőiben, de a XX. század előtt senki nem is tudott létezésükről. Azt hitték, hogy a nagy, repülésre képtelen új-zélandi takahe madár már vagy 200 éve kihalt, amikor egyszer csak élő példányokat találtak az ország Déli-szigetének egyik lakatlan táján. 1995-ben Tibet egy eldugott völgyében francia és angol tudósok eltévedtek egy hóviharban, és találtak egy *Riwoche* nevű lófajtát, amelyet korábban csak barlangrajzokon láttunk. A völgy lakói csodálkozva hallgatták, hogy a ló ritkaságnak számít a tágabb világban.

Van, aki úgy gondolja, még nagyobb meglepetésekben is részünk lehet. Idézet a *The Economist* 1995-ös cikkéből: „Egy híres brit etnobiológus szerint a Megatherium, egy kihaltnak hitt, földön élő, zsiráf nagyságú lajhárfajta... még mindig élhet az Amazonas-medence sűrű erdőiben.” Lehet, hogy lényeges, hogy az illető tudóst nem nevezték meg, mindenesetre azóta sem hallani sem róla, sem óriáslajhárjáról. De senki nem mondhatja ki, hogy nem él ilyen állat, amíg minden erdő minden zegét-zugát át nem kutatták, és ettől igen messze vagyunk.

De még ha kiképeznénk is több ezer kutatót, és elküldenénk őket a világ legtávolabbi sarkaiba, az sem lenne elég, mert ahol az élővilág meg akar telepedni, ott meg is telepszik. Az élet rendkívül, csodálatosan, sőt jólesően termékeny, ugyanakkor bizonytalan is. Ha az egészet át kívánjuk tekinteni, fel kell fordítanunk minden követ, át kell rostálnunk az összes avart és hihetetlen mennyiségű homokot és földet, fel kell másznunk minden fa lombkoronájába, és sokkal hatékonyabb módszereket kell találnunk a tengerek vizsgálatára. De még így is egész ökoszisztémákat hagyhatunk ki. Az 1980-as években amatőr barlangkutatók behatoltak egy barlang mélyére, amely már régóta (de senki nem tudja, mióta) el volt zárva a külvilágtól, és harminchárom rovar- és egyéb állatfajt találtak (pókokat, százlábúkat, tetveket); mind vakok voltak, színtelenek, és a tudomány számára tökéletesen ismeretlenek. Az állatok a föld alatti tavak tetején úszó mikrobákkal táplálkoztak, ők pedig a forró vizes források kén-hidro-

génjeivel.

Ezek alapján az összes élőlény felmérése lehetetlennek tűnik, ami bosszantó, csüggesztő, sőt ijesztő, ugyanakkor úgy is felfoghatjuk, hogy szinte elviselhetetlenül izgalmas feladat. A bolygó, amelyen élünk, gyakorlatilag végtelen sok meglepetést tartogat számunkra. Van-e olyan gondolkodó lény, aki azt kívánná, hogy ez ne így legyen?

Az összes mai tudományágban majdnem mindig az a legmegragadóbb, amikor látjuk, hányan szentelték életüket a legkülönösebb kérdések megválaszolására. Stephen Jay Gould egyik dolgozatában elmeséli, hogy az egyik hőse, Henry Edward Crampton hogyan töltött ötven évet, 1906-tól haláláig, egy polinéziai, Partula nevű földicsiga-nemzetség csendes tanulmányozásával. Crampton újra és újra, évről évre a számtalan Partula-faj csigafordulatait, íveit és szelíd kanyarulatait méregette, méghozzá nyolc jegy pontossággal, és az eredményeket végtelenül részletes táblázatokban rögzítette. A Crampton-tábla egyetlen sora több heti méricskélés és számítgatás eredménye.

Alfred C. Kinsey ennél csak egy kicsit volt kevésbé odaadó, viszont nagyon meglepő volt, amikor az 1940-es és 50-es években figyelme hirtelen az emberek nemi életére irányult. Mielőtt, hogy úgy mondjuk, elragadta volna a hév, rovarokkal foglalkozott, méghozzá meglehetősen kitartón. Egy alkalommal egy kétéves expedíció során 4000 kilométert járt be gyalog, hogy összegyűjtsön háromszázezer darazsat. Azt nem jegyzi fel a történelem, hogy ennek során hány csípést szerzett.

Régóta foglalkoztatott a kérdés, hogy honnan lesz az ilyen kevéssé ismert területek tudósainak utánpótlása. A világon nyilván nincs túl sok intézmény, amelynek szüksége lenne olyan specialistákra (és meg is tudná őket fizetni), akik kacsakagylókkal vagy csendes-óceáni csigákkal foglalkoznak. Amikor a londoni Természetrajzi Múzeumban elbúcsúztam Richard Forteytól, megkérdeztem, hogyan gondoskodik a tudomány világa arról, hogy amikor valaki elmegy, másvalaki átvegye a helyét.

Szívből kacagott naivitásomon.

– Attól félek, nem úgy van, mint a fociban, amikor a kispadon már alig várják, hogy beállhassanak a pályára. Amikor egy specialista nyugdíjba megy vagy meghal, az adott területen megállhatnak a dolgok, néha nagyon hosszú időre.

– Gondolom, ezért becsülnek ennyire valakit, aki negyvenkét éven át egyetlen növényfajt tanulmányoz, még akkor is, ha nem talál semmi nagy újdonságot?

– Pontosan – mondta, és úgy láttam, komolyan gondolja.

24.
SEJTEK

Egyetlen sejttel kezdődik. Kettéválik, azután négy sejt lesz, és így tovább. Csak negyvenhét osztódás után a test tízbilliárd (10 000 000 000 000 000 =10^{16}) sejtből áll, és kész az ember.[77] És minden egyes sejt a fogantatás pillanatától az utolsó lélegzetig pontosan tudja, hogy mi kell az ember jólétéhez.

Sejtjeink előtt nincsenek titkaink. Sokkal többet tudnak rólunk, mint mi róluk. Mindegyikben benne van teljes genetikai kódunk – testünk használati utasítása –, így nemcsak saját feladatukkal vannak tisztában, hanem a test minden egyes egyéb feladatával is. Soha nem kell például figyelmeztetnünk a sejteket, hogy figyeljenek oda az adenozin-trifosz-forsav-szintre, vagy hogy mit kezdjenek a hirtelen túltengő folsavval. Maguktól megoldják ezeket a problémákat, nem is tudjuk, hányat.

A természet minden sejtje maga a csoda. Az ember még a legegyszerűbbeket sem tudná előállítani. A legegyszerűbb élesztősejt legyártásához például körülbelül annyi apró alkatrészre lenne szükség, amennyi egy Boeing-777-es felépítéséhez. Ezeket kellene összeszerelnünk egy öt mikron átmérőjű gömbbé, majd valahogy meg kellene oldanunk, hogy szaporodjon is.

És az élesztősejtek nagyon egyszerűek az emberi sejtekhez képest, amelyek ráadásul lenyűgözően összetett kölcsönhatásokra képesek egymással.

Képzeljük el, hogy az olvasó egy ország, amelynek tízbilliárd állampolgára a maga különleges módján mind a nemzet jólétén dolgozik. Mindenre képesek. Ők teszik lehetővé, hogy az olvasó örüljön, és gondolatokat alkosson. Nekik köszönhető az állás, a nyújtózkodás és a szökdécselés. Az olvasó által elfogyasztott táplálékból ők válogatják ki a fontos anyagokat, igazságosan szétosztják a nyert energiát, és elszállítják a felesleget – ezeket tanultuk általános iskolában – de nekik köszönhető, hogy az olvasó egyáltalán megéhezett, és ők töltik el jó érzésekkel étkezés után, hogy legközelebb se felejtkezzen el az evésről. Ők növesztik az olvasó haját, ők gondoskodnak fülének zsírosan tartásáról, és agyának csendes, állandó járásáról. Mindent ők végeznek. Ha az olvasó veszélybe kerül, azonnal készen állnak a védelemre. Gondolkodás nélkül életüket adják az olvasóért – ezt naponta több milliárd meg is teszi. Fogadjunk, hogy az olvasónak még egyszer sem jutott eszébe köszönetet mondani! Ezért most álljunk meg egy pillanatra, és tűnődjünk el, milyen csodálatosak is sejtjeink, és milyen sokat köszönhetünk nekik.

Valami keveset már tudunk róla, hogy a sejtek hogyan végzik munkájukat, például hogyan halmozzák fel a zsírt, hogyan állítják elő az inzulint, vagy teszik többi feladatukat, amelyek elengedhetetlenek egy ilyen bonyolult élőlény fenntartásához. Ez az ismeret azonban tényleg kevés. Legalább 200 000 különböző fehérje dolgozik bennünk, és jelenleg ennek körülbelül 2%-áról tudjuk, hogy hogyan. (Mások 50%-kal dicsekszenek; úgy látszik, a dolog attól is függ, hogy mit értünk tudás alatt.)

A sejtek szintjén sok meglepő dolgot találhatunk. A természetben a nitrogén-oxid egy félelmetes méreg; az egyik leggyakoribb légszennyező anyag. Nem csoda, hogy a tudósok meglepődtek, amikor az 1980-as évek közepén kiderült, hogy az emberi sejtek szorgalmasan termelik. Először nem tudták, mi célból, de azután több funkciójára is fény derült: ez szabályozza a véráramlást és a sejtek energiaszintjét, küzd a rák és más betegségek ellen, segíti szaglásunkat, és még a hímvessző erekciójában is szerepe van. Így már érthetőbb, hogyan lehetséges, hogy a nitroglicerin, ez a közismert robbanószer

hogyan enyhítheti az angina nevű szívfájdalmat. (A véráramban nitrogén-oxiddá alakul, ellazítja az erek falának izomzatát, így a vér könnyebben folyhat.) Nem kellett hozzá egy évtized sem, hogy a veszélyes méregből mindenható gyógyszer legyen.

Christian de Duve belga biokémikus szerint „néhány száz" különböző méretű és alakú sejtünk van, az akár egyméteres axonnal rendelkező idegsejtektől az apró, korong alakú vörös vértesteken át a pálcika alakú fényérzékelő receptorokig. Méretük is nagyon változó: fogamzáskor például a spermium a nála 85 000-szer nagyobb petesejttel találkozik (ez kifejezetten serkenti a férfiak gyarmatosítási hajlamát). Egy átlagos emberi sejt körülbelül 20 mikron nagyságú, tehát a milliméter ötszázad része; olyan kicsi, hogy nem látjuk, viszont elég nagy a többezernyi bonyolult szerkezetnek, amilyenek például a mitokondriumok és a sokmillió különféle molekula. A sejtek abban is különböznek, hogy mennyire tekinthetjük őket élőnek. Bőrünk sejtjei például halottak. Kellemetlen, de igaz gondolat, hogy külső felületünk halott. Egy átlagos méretű felnőtt mintegy 2 kilogramm halott bőrt cipel magával, és ennek többmilliárd apró pelyhe foszlik le rólunk minden nap. Ha legközelebb végighúzzuk az ujjunkat a polcon felgyülemlett porban, jusson eszünkbe, hogy ennek nagy része emberi bőrből származik.

A legtöbb sejt csak körülbelül egy hónapig él, de vannak kivételek. A máj sejtjei többéves kort is megérhetnek, bár összetevőik pár naponként megújulnak. Agysejtjeink velünk egykorúak. Születéskor körülbelül százmilliárdot kaptunk, és ennél több sosem lesz. Egy közelítés szerint óránként mintegy ötszáz pusztul el belőlük, ezért ha az olvasó előtt sok gondolkodást kívánó feladatok állnak, javaslom, kezdjen hozzájuk. Azért van jó hírem is: agysejtjeink összetevői folyamatosan megújulnak, mint a májsejteké, és ilyen értelemben egyikük sem öregebb egy hónapnál. Egyszer hallottam valahol, hogy egyetlen részünk, egyetlen molekulánk sem öregebb kilenc évnél. Lehet, hogy nem mindig érezzük így, de a sejtek szintjén még csak gyerekek vagyunk.

Robert Hooke írta le először a sejtet. Az ő nevével utoljára akkor találkoztunk, amikor éppen Isaac Newtonnal perlekedett azon, melyikük találta ki az inverz négyzetes törvényt. Hooke életének hatvannyolc éve alatt sok mindent elért – nagy elméleti tudós volt, ugyanakkor mestere az ötletes, hasznos szerkezeteknek is –, de semmi nem hozott neki nagyobb sikert, mint népszerű műve, az 1645-ben kiadott *Micrographia: or some physiological descriptions of minute hodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon* (Kis rajzok, avagy apró testek élettani leírásai mikroszkóppal végzett vizsgálatok és kísérletek alapján). Az olvasóközönséget elbűvölte a szemmel láthatatlan parányok világa, ami jóval változatosabb volt, tele finom szerkezetekkel, mint ahogyan valaha valaki is képzelte volna.

Az elsőként Hooke által észrevett mikroszkopikus egységek a növények kis kamrái voltak, amelyeket ő sejteknek, azaz celláknak nevezett el, mert a szerzetesek celláira emlékeztette őt. Hooke kiszámította, hogy egy négyzethüvelyknyi parafa 1 259 712 000 ilyen kis cellát tartalmaz; ez volt az első igazán nagy szám az összes tudományban. Addigra ugyan már egy nemzedék felnőtt a mikroszkóp feltalálása óta, de a Hooke által használt optika műszakilag sokkal jobb volt. Harmincszoros nagyítást lehetett elérni vele, ami csúcsmegoldás volt a XVII. század optikai fejlettségéhez képest.

Így mindenki megdöbbent, amikor alig tíz évvel később Hooke és a Királyi Társaság többi tagja megtudta, hogy egy tanulatlan vászonárukereskedő a hollandiai Delft városában 275-szörös nagyítást ért el. A kereskedő neve Antony van Leeuwenhoek volt. Bár valóban keveset járt iskolába, tudománnyal pedig soha nem foglalkozott, jó felfogóképességű, figyelmes megfigyelő volt, és műszaki

lángelme.

A mai napig nem tudjuk, egyszerű kézi eszközeivel, amelyek gyakorlatilag facsőbe illesztett apró üvegbuborékok voltak, hogyan ért el ilyen sokszoros nagyítást, hiszen ezek jobban hasonlítottak a nagyítóra, mint a ma mikroszkópnak nevezett eszközre. Leeuwenhoek új eszközt készített minden egyes új kísérletéhez, módszereit azonban a legnagyobb titokban tartotta, bár néha adott egy-két ötletet az angoloknak, hogyan tökéletesíthetnék saját berendezéseiket.[78]

A következő ötven év során – tehát kilencvenegy éves korában bekövetkezett haláláig – majdnem kétszáz jelentést írt a Királyi Társaságnak plattnémet nyelvjárásban, hiszen csak ezt a nyelvet ismerte. Eredményeit nem értelmezte, egyszerűen csak közölte, remekművű rajzokkal együtt. Majdnem mindent megvizsgált, amit csak lehetett: penészes kenyeret, a méh fullánkját, vérsejteket, hajszálakat, saját nyálát, ürülékét és ondóját (az utóbbiakat sűrű mentegetőzések közepette küldte el kikerülhetetlenül visszataszító természetük miatt) – szinte csupa olyan dolgot, amelyet korábban még soha nem vizsgáltak mikroszkóppal.

Miután 1676-ban bejelentette a Királyi Társaságnak, hogy egy csepp borslében mikroszkopikus állatokat talált, a társaság tagjai egy éven keresztül ezeket a parányokat keresték a legjobb angol mikroszkópokkal, mire elérték a felfedezésükhöz megfelelő nagyítási arányt. Leeuwenhoek protozoákat talált. Úgy számolt, hogy egy csepp vízben 8 280 000 ilyen van – több, mint ahányan Hollandiában élnek. A világ tehát tele van olyan és annyi élettel, amire korábban még csak nem is gondoltak.

Leeuwenhoek fantasztikus eredményeit látva mások is elkezdtek mikroszkóppal kutatni; ezt olyan lelkesen tették, hogy néha olyasmit is találtak, ami nem is volt ott. Egy tiszteletre méltó holland tudós, Nicolaus Hartsoecker biztosan állította, hogy „apró, eleve megalkotott embereket” talált az ondósejtekben. Ezeket homunculusnak (emberkének) nevezte el, és egy ideig sokan osztották véleményét, hogy minden ember, sőt minden élőlény egyszerűen az apró, de teljes elődlény hatalmasra nagyított mása. Magát Leeuwenhoekot is elragadta néha a lelkesedés. Egyik kevésbé sikeres kísérletében közelről kívánta tanulmányozni a puskapor robbanékonyságát; a kicsinek szánt robbanás során majdnem elvesztette látását.

1683-ban Leeuwenhoek felfedezte a baktériumokat, de a fejlődés itt meg is állt a következő század közepéig, mert a mikroszkópok műszakilag nem voltak többre képesek. Csak 1831-ben látták meg először a sejtmagot, méghozzá a skót növénytudós, Robert Brown, az 1773-tól 1858-ig élt, a tudomány sok területét művelő, de homályos figura. Felfedezését nucleusnak nevezte el a latin nucula szóból, ami kis diót vagy magot jelent. Csak 1839-ben fedezték fel, hogy minden élő anyag sejtekből áll. Erre a német Theodor Schwann jött rá. Felfedezése nemcsak hogy későn történt, de sokáig nem is fogadták el. Csak az 1860-as években, a francia Louis Pasteur egy korszakalkotó felfedezése után bizonyították be tudományos alapossággal, hogy az élet nem alakulhat ki magától, csak már korábban létezett sejtekből. Az új irányzat neve „sejtelmélet” lett; ez a modern biológia alapja.

A sejtet sok mindenhez hasonlították már „bonyolult vegyi üzemtől” (James Trefil fizikus) „hatalmas, nyüzsgő nagyvárosig” (Guy Brown biokémikus). A sejt mindkettő, és egyik sem. Annyiban hasonlít a gyárhoz, hogy rengeteg vegyi folyamat megy benne végbe, és annyiban a nagyvároshoz, hogy zsúfolt, és zavarosnak és véletlenszerűnek tűnő kölcsönhatások zajlanak benne, amelyekben nyilván-

valóan van valamiféle rendszer. De sokkal rémisztőbb hely ez, mint bármelyik üzem vagy nagyváros. Először is, nincsenek benne kitüntetett irányok (a gravitáció egy sejten belül elhanyagolható tényező), és nincsen benne egy atomnyi üresség sem. Mindenhol lázas tevékenység folyik, az elektromos energia pedig szinte dübörög. Lehet, hogy nem érezzük, de tele vagyunk árammal. Az elfogyasztott táplálékot és a belélegzett oxigént sejtjeink elektromossággá alakítják. Azért nem rázzuk meg egymást, vagy égetjük ki a kanapét, amikor leülünk, mert mindez mikroszkopikus méretekben történik: 0,1 volt halad át nanométeres távolságokon. Ha ezt arányosan felnagyítjuk, méterenként 20 millió voltot kapunk; ez pontosan annyi, mint a létező legnagyobb feszültség, amely egy villámlás során kisülhet. Sejtjeink méretüktől és alakjuktól függetlenül alapvetően egyformák: kívülről sejthártya határolja őket, sejtmagjuk védi a genetikai információkat, a kettő között pedig az élősejt-protoplazma vagy citoplazma nevű, igen aktív anyag található. A sejthártya, nevével ellentétben, nem egy tartós, rugalmas tok, amit egy hegyes tűvel kiszúrhatnánk, hanem egy lipid nevű anyag, amelynek az állaga körülbelül olyan, mint egy „lágyabb gépzsíré" (Sherwin B. Nuland). Lehet, hogy ez nem tűnik valami tartósnak, de ne feledjük, mikroszkopikus szinten a dolgok másképpen viselkednek. Molekuláris szinten a víz olyan, mint egy sűrű zselé, a lipid pedig, mint a vas.

Ha ellátogatnánk egy sejtbe, biztosan nem tetszene. Ha akkorára nagyítanánk, hogy az atomok borsószem méretűek legyenek, a sejt körülbelül nyolcszáz méter átmérőjű lenne, és látnánk, hogy egy sejtváz nevű, bonyolult hálózat tartja egyben. Ebben sok millió tárgy – vannak köztük kosárlabda méretűek, de akkorák is, mint egy autó – süvítene el puskagolyóként a fülünk mellett. Nem tudnánk hová állni, hogy másodpercenként több ezer dolog belénk ne ütközzön minden irányból. A sejt még állandó lakói számára is veszélyes lehet. Minden egyes DNS-szálat 8,4 másodpercenként támadás ér, naponta tízezer; ellenségei olyan anyagok, amelyek gondatlanul beleütköznek vagy átvágják, és ezeket a sérüléseket gyorsan be kell gyógyítani, mert ha nem sikerül, akkor a sejt elpusztul.

A fehérjék is meglehetősen aktívak; tekeregnek, lüktetnek, és másodpercenként akár egymilliárdszor egymásnak ütköznek. Az enzimek (a tehenek egy fajtája) mindenütt ott vannak, másodpercenként ezer feladatot is el tudnak végezni. Felgyorsított hangyák módjára szorgalmasan építik és újjáépítik a molekulákat, az egyikből lefaragnak, a másikhoz hozzátesznek valamit. Egyesek figyelik az elhaladó fehérjéket, és vegyi úton megjelölik azokat, amelyeket már nem lehet megjavítani. Ha egy fehérjét megjelöltek, azok a proteoszóma nevű sejtszervecskébe kerülnek, ami elemeire bontja őket, hogy anyagaikból új fehérjék jöhessenek létre. Bizonyos típusú fehérjék egy félórát sem maradnak meg, mások hetekig kitartanak. Abban viszont hasonlítanak egymáshoz, hogy életük elképesztően „pörgős". De Duve szerint: „A molekulák világát soha nem fogjuk tudni elképzelni, hiszen az ott történő események számunkra felfoghatatlan sebességgel mennek végbe."

De ha lelassítjuk a dolgokat olyan sebességre, hogy a kölcsönhatásokat megfigyelhessük, akkor az egész nem is olyan félelmetes. Látni fogjuk, hogy a sejtben több millió tárgy – lizoszómák, endoszómák, riboszómák, ligandumok, peroxiszómák és mindenféle fehérjék – ütközik egymásnak, és közönséges dolgokat művelnek: energiát vesznek fel a tápanyagokból, szerkezeteket hoznak létre, megszabadulnak a salakanyagoktól, harcolnak a betolakodók ellen, üzeneteket küldenek és fogadnak, javításokat végeznek. Egy sejtben általában húszezer különböző fehérje van, és ezek egytizedében legalább ötvenezer molekula. Nuland: „Ezek szerint... minden sejtben legalább 100 millió fehérjemolekula van. Ezt a hatalmas számot látva talán képet kapunk arról, mennyi biokémiai folyamat zajlik bennünk."

A folyamatok nagyon energia- és anyagigényesek. Szívünk óránként 343, naponta 8000, évente 3

millió liter (négy versenymedence térfogata) vért szivattyúzik át, hogy a sejtek mindig friss oxigént kapjanak. (Ha mi eközben nyugalomban vagyunk. Ha közben esetleg nehéz fizikai tevékenységet végzünk, ez a mennyiség akár hatszorosára is nőhet.) Az oxigént a mitokondriumok veszik fel. Ezek a sejtek erőművei, amelyekből körülbelül ezer van sejtenként, bár az energiaigény erősen függ a sejt feladatától.

Egy korábbi fejezetben említettük, hogy a mitokondriumok korábban talán különálló baktériumok voltak, amelyek most a sejtjeinkben élnek, de saját genetikai kódjuk és időbeosztásuk van, és saját nyelvükön kommunikálnak. Ki vagyunk szolgáltatva jóindulatuknak. Ez azért van, mert majdnem az összes általunk felvett oxigén és táplálék hozzájuk kerül, és ők alakítják át egy adenozin-trifoszfát (ATP) nevű molekulává.

Lehet, hogy az olvasó még soha nem hallott az ATP-ről, pedig nélküle nem működne. Az ATP molekulák kis mozgó akkumulátorok, amelyek az összes sejtfolyamatot ellátják energiával, amelyből pedig igencsak sokat használunk el. Minden adott pillanatban körülbelül egymilliárd ATP-molekula van testünk minden sejtjében, két percen belül mindegyikük kimerül, és másik egymilliárd áll a helyére. Mindennap körülbelül testtömegünk felének megfelelő mennyiségű ATP-t hozunk létre, és használunk el. Ugye milyen meleg a bőrünk? Ez mutatja, hogy ATP-ink működnek.

Amikor egy sejtre már nincsen szükség, méltóságteljes halált halnak. Lebontják az őket egyben tartó támasztószerkezetet, és csendben megemésztik összetevőiket. A folyamat neve programozott sejthalál (apoptózis). Minden nap többmilliárd sejtünk hal meg értünk, más milliárdok pedig eltakarítják a maradványokat. A sejtek erőszakos halállal is elpusztulhatnak – például fertőzés esetén –, de leginkább akkor szoktak, amikor a test egészének ez áll érdekében. Ha a sejt nem kap olyan utasítást egy másik sejttől, hogy maradjon életben, automatikusan megsemmisíti magát; olyan, mintha a sejteket folyamatosan bátorítani kellene.

Néha megtörténik, hogy egy sejt nem semmisül meg, amikor kellene, hanem elkezd nagy iramban osztódni. Ez a daganat. A rákos sejtek valójában információt rosszul feldolgozó sejtek. A sejtek ezt a hibát egészen gyakran elkövetik, de a testnek megvannak a maga jól kidolgozott módszerei, hogy hogyan bánjon el velük. A folyamat csak nagyon ritkán szabadul el. Halálos, rosszindulatú daganat csak egyszer fordul elő minden százmillió milliárd sejtosztódás során. A rák tehát egy igazi balszerencse, a szó szoros értelmében. A sejtekben nem az a különös, hogy a dolgok néha rosszul ütnek ki, hanem hogy legtöbbször évtizedeken keresztül minden simán megy a maga útján. Ez azért lehetséges, mert a test különböző részein lévő sejtek folyamatosan kommunikálnak egymással – képzeljük csak el, micsoda hangzavar lehet –, utasítások, kérdések, helyesbítések, segítségkérések, frissítések és sejtek elhalására vagy osztódására vonatkozó utasítások jönnek-mennek. A legtöbb jelet a hormonok viszik, például az inzulin, az adrenalin, a tüszőhormon és a tesztoszteron a távoli mirigyektől, például a pajzs- és a belső elválasztású mirigyektől. Más üzeneteket az agy és más helyi központok küldenek a szomszédos sejtre ható jelzés módszerével. A sejtek közvetlenül kommunikálnak szomszédjaikkal, hogy összehangolják tevékenységüket.

Érdemes megjegyezni, hogy mindez a tevékenység tulajdonképpen véletlenszerű találkozások végtelen sorozata, amelyeket csak a vonzás és taszítás elemi törvényei szabályoznak. A sejtek nyilvánvalóan nem gondolkodnak. Mégis működnek, simán, ismételten, és olyan megbízhatón, hogy csak ritkán kell egyáltalán tudomást vennünk róla. És nemcsak a sejten belül van tökéletes rend, hanem az egész szervezetben. Még alig tudjuk, hogy hogyan, de a sok milliárd visszaható vegyi reakció eredménye a mozgó, gondolkodó, döntésképes olvasó – vagy például egy tűnődésre kevésbé hajlamos, de szintén

hihetetlenül jól kitalált ganajtúró bogár. Soha ne feledjük, hogy minden élőlény az atomi szintű építészet csodája.

Egyes, általunk primitívnek tartott élőlények sejtszerveződése nagyon is bonyolult. Ha egy szivacs sejtjeit szétválasztjuk egymástól (például átnyomjuk egy szitán), és az eredményt folyadékba tesszük, azok hamarosan összeállnak egy másik szivaccsá. Ezt akárhányszor meg lehet tenni vele, és makacsul újra össze fog állni, mert a legerősebben működő ösztön az olvasóban, bennem és minden más élőlényben egyaránt: az életben maradás.

Az egész egy furcsa, önfejű, kevéssé ismert molekula miatt van, amely maga nem él, és általában nem is tesz semmit. DNS-nek hívjuk, és hihetetlen tudományos jelentőségének megértéséhez vissza kell utaznunk vagy 160 évet az időben, Viktória királynő Angliájába. Ekkor jött el az a pillanat, amikor Charles Darwin természettudósnak eszébe ötlött „a legeslegjobb ötlet, amely valakinek eszébe juthat”. Ezután – és ennek oka nem szorul sok magyarázatra – fiókjába zárta, és tizenöt évig elő sem vette.

25.
DARWIN PÁRATLAN GONDOLATA

1859 késő nyarán vagy kora őszén Whitwell Elwin, a tiszteletre méltó angol *Quarterly Review* szerkesztője kapott egy recenziós példányt Charles Darwin új könyvéből. Elwin érdeklődve elolvasta a könyvet, elismerte, hogy vannak érdekes részei, de félt, hogy a téma csak keveseket érdekelne. Arra biztatta Darwint, írjon inkább a galambokról. – A galambok mindenkit érdekelnek – tette hozzá segítőkészen.

Elwin bölcs tanácsát a szerző nem fogadta meg, így *A fajok eredete természetes kiválasztás útján vagy a létért való küzdelemben előnyhöz jutott fajták fennmaradása* (*On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*) című könyv november végén megjelent; példányonként 15 shillingbe került. Az első kiadás – összesen 1 250 példány – már az első napon elfogyott. Azóta is mindig kapható, és soha nem szűnnek meg körülötte a viták – nem is rossz egy olyan írótól, akinek a másik fő témája a földigiliszta volt, és aki ha nem jut véletlenül arra az elhamarkodott döntésre, hogy körbevitorlázza a világot, valószínűleg névtelen vidéki lelkész maradt volna, akire legfeljebb a giliszták miatt emlékeznénk.

Charles Robert Darwin 1809. február 12-én[79] született Shrewsbury-ben, Közép-Anglia egy csendes mezővárosában. Apja jómódú és jó hírű orvos volt. Anyja, Josiah Wedgewood kerámiagyáros lánya, meghalt, amikor a fiú még csak nyolcéves volt.

Darwinnak nagyon jó gyermekkora volt, apjának mégis folyamatosan fájdalmat okozott azzal, hogy elhanyagolta tanulmányait. „Semmivel nem törődsz, csak a vadászattal, kutyákkal, patkányfogással; szégyent hozol magadra és egész családodra” – írta az idősebb Darwin (attól félek, nem én vagyok az első, aki ezt a mondatot idézem Darwin ifjúságával kapcsolatban). Bár a fiatalembert a természetrajz érdekelte volna, apja kedvéért megpróbálkozott az orvostudománnyal az Edinburghi Egyetemen, de nem tudta elviselni a vér és a szenvedés látványát. Egy érthetően kétségbeesett gyermeken végzett műtét végignézése után – ne feledjük, hogy akkor még nem léteztek érzéstelenítési módszerek – teljesen feladta. Inkább a jogi tanulmányokkal próbálkozott, de kibírhatatlanul unalmasnak találta. Végül maradt a papi pálya; diplomáját Cambridge-ben szerezte.

Úgy látszott, életét csendesen fogja leélni vidéki plébániáján, amikor váratlan, csábító ajánlatot kapott. Meghívták őfelsége hadihajójára, a *Beagle*-re, ami tengerészeti kutatóútra indult. Fő feladata az lett volna, hogy vacsorák alkalmával szóval tartsa a kapitányt, Robert FitzRoyt, aki a rangja miatt nemigen állhatott volna szóba közrendű emberekkel. A hóbortos FitzRoy részben azért választotta Darwint, mert megtetszett neki orra vonala. (Úgy gondolta, nagy jellemről árulkodik.) Nem Darwin volt FitzRoy első választása, de a másik lehetséges útitárs valamilyen okból nem utazhatott el. A XXI. századból nézve a két férfi legfőbb közös tulajdonsága fiatalságuk volt: az út elején FitzRoy mindössze huszonhárom éves volt, Darwin pedig huszonkettő.

FitzRoy feladata elvileg a part menti vizek feltérképezése volt, hobbija – vagy inkább szenvedélye – viszont a bibliai teremtéstörténet szó szerinti értelmezésének bizonyítása. Darwin teológiai képzettsége fontos szempont volt, amikor FitzRoy eldöntötte, hogy őt viszi magával. Az a tény, hogy Darwin

egyrészről szabadelvű nézeteket vallott, másrészről az is hamar kiderült róla, hogy nem sokat törődik a keresztény alapigazságokkal, sok súrlódás forrása lett kettőjük között.

Darwin 1831-től 1836-ig utazott a Beagle fedélzetén. Bár nyilvánvalóan ez volt életének meghatározó élménye, biztos, hogy nehéz időszak volt a számára. A kapitánnyal ketten osztoztak egy kis kabinon, ami nem lehetett könnyű, mert FitzRoynál dührohamok váltakoztak hosszan tartó sértődésekkel. Állandóan veszekedtek, már-már „az őrület határát súrolva", ahogyan arról Darwin később beszámolt. Az óceáni utazások a legjobb esetben is hajlamosítják az embert a búskomorságra – a Beagle előző kapitánya például főbe lőtte magát egy magányos pillanatában –, és FitzRoy családjában nem most először fordult elő depresszió. Nagybátyja, Castlereagh őrgróf a megelőző évtizedben, amikor pénzügyminiszter volt, felvágta a saját torkát. (Később maga FitzRoy is így követett el öngyilkosságot 1865-ben.) A kapitány még nyugodt pillanataiban is kiszámíthatatlanul viselkedett. Darwin csodálkozva hallotta, hogy FitzRoy a hazaérkezés után szinte azonnal feleségül vett egy fiatal lányt, akivel már régóta jegyesek voltak. Öt évet töltöttek együtt, és a kapitány egyszer sem célzott a kapcsolatukra, vagy említette menyasszonya nevét.

A *Beagle*-expedíció minden más szempontból sikeres volt. Darwinnak egész életére elegendő kalandban volt része, s közben elég állatot és növényt gyűjtött ahhoz, hogy kiérdemelje a természettudós nevet, és évekre elfoglaltsággal lássák el. Pompás, hatalmas őskövületeket talált, például a máig a legteljesebb *Megatherium*ot, Chilében túlélt egy borzalmas földrengést; felfedezett egy új delfinfajt (amelyet kötelességtudón *Delphinus fitzroy*inak nevezett el); buzgó geológiai kutatásokat végzett az Andokban. Ezenfelül egy új, sokak által csodált elméletet alkotott a korallzátonyok kialakulásáról, amely szerint azokhoz legalább egymillió év kellett – ez volt az első kijelentése, amely arra utalt, hogy úgy gondolja, a geológiai folyamatok nagyon hosszú idő alatt mennek végbe. 1836-ban, öt év és két nap utazás után, huszonhét éves korában hazatért. Soha többé nem hagyta el Angliát.

Darwin a hajóút során egy dolgot biztosan nem tett: nem vetette fel az evolúció elméletét (vagy bármiféle evolúcióelméletet). Először is, az evolúció fogalma az 1830-as években már többször tíz éves volt. Darwin saját nagyapja, Erasmus, egy ihletetten középszerű versben adózott az evolúciós elméletnek. A vers címe *The Temple of Nature* (A Természet temploma) volt, és évekkel Charles születése előtt jelent meg. Amikor az ifjabb Darwin visszatért Angliába, és elolvasta Thomas Malthus *An Essay on the Principle of Population* (Tanulmány a népesedés törvényéről) című munkáját (amely szerint matematikai oka van, hogy a táplálékmennyiség növekedése soha nem lehet arányos az azt fogyasztó populáció növekedésével), akkor kezdett benne megfogalmazódni a gondolat, hogy az élet állandó küzdelem, és egyes fajok kihalnak, mások pedig fennmaradnak a természetes kiválasztódás rostáján. Darwin azt látta meg, hogy minden élőlény versenyez az erőforrásokért, és amelyek rendelkeznek valamiféle velük született előnnyel, boldogulnak, utódjaik pedig öröklik ezt a jó tulajdonságot, így tudnak a fajok folyamatosan tökéletesedni.

Szörnyen egyszerű gondolatnak tűnik – az is –, ugyanakkor nagyon sok mindent megmagyaráz, és Darwin készen állt arra, hogy egész életében ennek elismertetéséért dolgozzon.

– Milyen buta vagyok, hogy nem nekem jutott eszembe! – kiáltott fel T. H. Huxley, amikor elolvasta *A fajok eredeté*t. Azóta sokan mások is hangoztatták ugyanezt.

Érdekes módon Darwin nem használta a „survival of the fittest" (a legéletrevalóbb túlélése) kifejezést könyveiben (bár elismerte azt). A kifejezést 1864-ben, A fajok eredetének megjelenése után öt

évvel Herbert Spencer használta először *Principles of Biology* (A biológia alapelvei) című könyvében. Sőt, Darwin az evolúció szót sem használta egyetlen megjelent művében sem A fajok eredete hatodik kiadásáig (addigra már olyan sokan használták, hogy nem tudott ellenállni), helyette a „módosult utódlás" körülírást alkalmazta. Hadd számoljak le még egy közszájon forgó tévedéssel: következtetéseit nem abból vonta le, hogy a galápagosi pintyek csőre milyen érdekesen módosult. A történetet úgy szokták mesélni (vagy legalábbis így szoktunk rá emlékezni), hogy amikor Darwin szigetről szigetre utazott, észrevette, hogy az ott élő pintyek csőre csodálatosan alkalmas az ott található élelem elfogyasztására: az egyik szigeten erős és rövid, hogy diót törhessenek vele, a másikon hosszú és vékony, hogy a tekergőző zsákmányt ki lehessen vele csípni a résekből. Ebből arra következtetett, hogy a madarakat nem így teremtették, hanem bizonyos értelemben ők teremtették erre magukat.

Valójában tényleg ez történt, de ezt nem Darwin fedezte fel. A *Beagle*-expedíció idején Darwin éppenhogy befejezte az egyetemet, és még nem volt igazi természettudós, ezért nem vette észre, hogy a Galápagos-szigeti pintyek mind egy alaptípushoz tartoznak. Madártani tudós barátja, John Gould vette észre, hogy a Darwin által talált madarak mind pintyek, amelyek különböző dolgokra képesek. Sajnos Darwin az utazáskor még olyan tapasztalatlan volt, hogy nem jegyezte fel, melyik madár melyik szigetről származott. (A szárazföldi teknősbékákkal is elkövette ugyanezt a hibát.) Évekbe telt, amíg ezt kiderítették.

E különféle felületességek miatt, és mivel rendeznie kellett a *Beagle* sokládányi leletét, csak 1842-ben kezdte el elméletének kidolgozását, amikor már öt éve visszatért Angliába. Két évvel később készen állt az első, 230 oldalas „vázlat". Utána pedig rendkívüli dolog történt: jegyzeteit félretette, és a következő másfél évtizedben mással foglalkozott. Tíz gyermeke született, és majdnem nyolc éven keresztül egy kimerítő munkát írt a kacsakagylókról („Úgy utálom a kacsakagylót, ahogy azt még ember nem utálta" – fakadt ki érthető módon az értekezés befejezésekor), és furcsa testi zavarok gyötörték, amelyek miatt krónikusan fásult, lankadt és nyugtalan lett, ahogy ő mondta. Tünetei közé tartozott a rettenetes hányinger és általában a szapora szívdobogás, migrén, kimerültség, remegés, foltlátás, fulladás, szédülés, és nem meglepő módon ezekhez még depresszió is társult.

Soha nem derült ki, mi is volt ez a betegség. Az a legromantikusabb (és talán a legvalószínűbb) elképzelés, hogy Chagas-betegségben szenvedett, egy krónikus trópusi fertőzésben, amelyet Dél-Amerikában kaphatott egy vérszívó poloska csípésétől. Prózaibb lehetőség, hogy tünetei pszichoszomatikus eredetűek voltak. Bármi is okozta állapotát, az biztos, hogy Darwin sokat szenvedett. Gyakran előfordult, hogy nem tudott egyszerre húsz percnél többet dolgozni, néha még annyit sem. Élete hátralevő részében rengeteg idő ment el az egyre drasztikusabb gyógyítási kísérletekre: próbálkozott jeges vízbe mártózással, ecetes zuhannyal, néha „elektromos láncokat" tekert maga köré, amelyek kis áramütéseknek tették ki. Kenti háza, a Down House szinte remetelak lett, hiszen alig mozdult ki onnan. Amikor a házba költözött, rögtön felszereltetett egy tükröt, amelyben dolgozószobája ablakából szemmel tarthatta a kaput, és így elkerülhette a nemkívánatos vendégeket.

Darwin azért nem közölte senkivel elméletét, mert tisztában volt vele, mekkora vihart kavarna vele. 1844-ben, amikor jegyzeteit elzárta, a gondolkodó világot felháborította egy *Vestiges of the Natural History of Creation* (A teremtés természetrajzának nyomai) című könyv, amelynek írója felvetette, hogy az ember esetleg a főemlősök közül származik, isteni teremtés nélkül. A szerző előre sejthette az olvasók reakcióját, ezért a következő negyven évben még barátai előtt is gondosan titkolta kilétét. Volt, aki azt hitte, Darwin áll a könyv mögött. Mások Albert hercegre gyanakodtak. A szerző valójában egy Robert Chambers nevű, sikeres, de szerény skót könyvkiadó volt, akinek jó oka volt a titkot

megtartani: cégének fő profilja a Biblia-kiadás volt.[80] A könyvet sok szószékről szapulták Angliában és külföldön, de a tudósok nagy részét is feldühítette. Az Edinburgh Review majdnem egy teljes számában – nyolcvanöt oldalon át – szedte apró darabokra a könyvet. Még T. H. Huxley, az evolúció híve is csípősen beszélt róla; nem is tudta, hogy a szerző az egyik jó barátja.

Lehet, hogy Darwin saját kézirata csak halálakor került volna elő, ha nem ijedt volna meg, amikor 1858 nyarán kapott egy barátságos levelet a Távol-Keletről. A feladó Alfred Russel Wallace volt, a melléklet pedig az *On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type (Az élőlények variációiról, amelyek akármennyire eltérhetnek az eredetitől*) című cikke, amelyben a szerző kifejti saját, Darwin titokban maradt művéhez kísértetiesen hasonlító természetes kiválasztódás-elméletét. Még a kifejezések némelyike is olyan volt, mint amelyeket Darwin használt. Darwin így fakadt ki: „Soha nem láttam még ilyen véletlen egybeesést. Olyan, mintha Wallace kijegyzetelte volna 1842-es vázlatomat."

Sokan úgy emlegetik Wallace-t, mint aki váratlanul toppant be Darwin életébe, pedig már régóta levelezésben álltak, és Wallace nemegyszer növényeket és állatokat küldött Darwinnak, amelyekről úgy gondolta, érdekelhetik. Egyszer Darwin finoman figyelmeztette Wallace-t, hogy a fajok létrejöttének kutatását saját területének tekinti: „Ez a nyár lesz a huszadik (!), amióta elkezdtem feljegyzéseimet elkészíteni arról, hogyan és miképp különböznek a fajok és variációk egymástól. Most már munkám nyomdai előkészítésénél tartok." Ez persze nem volt igaz.

Wallace nem fogta fel, Darwin mit akar közölni vele. De ha megértette volna, akkor sem lehetett volna fogalma arról, saját elmélete mennyire megegyezik azzal, amit Darwin már húsz éve fontolgat.

Darwin kutyaszorítóba került. Ha gyorsan kiadatja munkáját, hogy ő legyen az első, azzal kihasználná egy távoli hívének őszinteségét. Ha viszont félreáll, ahogyan az egy úriembertől elvárható, nem az övé lenne az érdem az elméletért, amelyet pedig egyedül állított fel. Wallace elmélete maga a szerző szerint is egy pillanatnyi megvilágosodás eredménye volt, Darwiné pedig több évi körültekintő, fárasztó, nehéz és módszeres töprengés eredménye. Kétségbeejtő igazságtalanság.

Mintha ennyi gyötrelem még nem lett volna elég, Darwin legkisebb fia, Charles, elkapta a skarlátot, és súlyosan megbetegedett. Darwin éppen szerzői problémájával küszködött, amikor, június 28-án, a gyermek meghalt. Az elkeseredett apa sietős levelet küldött barátainak, Charles Lyellnek és Joseph Hookernek, amelyben felajánlotta, hogy félreáll, de azért azt is megjegyezte, hogy ezzel minden munkája, „akármennyi legyen is az, romba dől". Lyell és Hooker egy kompromisszumos megoldást ajánlott: Darwin és Wallace gondolatainak kivonata jelenjen meg együtt. Úgy gondolták, erre a legjobb alkalom a Linné Társaság (amely ekkoriban kezdett ismét komoly tudományos egyesületnek számítani) ülése lesz. 1858. július l-jén Darwin és Wallace elméletét bemutatták a tudományos világnak. Maga Darwin nem volt jelen. Aznap a feleségével volt; ekkor temették el a fiukat.

A Darwin-Wallace előadás csak egy volt az aznapi hét közül – egy másik például Angola növényvilágáról szólt –, és a mintegy harmincfős hallgatóság semmi jelét nem mutatta, hogy az évszázad tudományos fénypontján vesz részt. Nem tettek fel kérdéseket. Az eseménynek szinte semmiféle visszhangja nem volt. Mint Darwin később vidáman megjegyezte, csak egyvalaki, egy Haughton nevű dublini egyetemi tanár írt a két dolgozatról, és a következőképpen summázta véleményét: „Ami új bennük, az nem igaz, ami pedig igaz, azt régóta tudjuk."

Wallace ekkor még mindig a Távol-Keleten tartózkodott, és az egészről csak jóval később szerzett

tudomást. Kiderült, hogy egyáltalán nem érzi sértve magát, sőt örül, hogy megemlítették az ő elméletét is. Az elméletet is ő nevezte el darwinizmusnak.

Darwin elsőbbségét másvalaki kérdőjelezte meg: Patrick Matthew skót kertész, aki eddigre szintén már vagy húsz éve foglalkozott a természetes kiválasztódás elméletével; pontosan abban az évben kezdte el, amikor Darwin felszállt a *Beagle* fedélzetére. Sajnos nézetei egy *Naval Timber and Arboriculture* (A hajófa és a fatermelés) című könyvben jelentek meg, amelyet nemcsak Darwin nem olvasott, hanem szinte senki. Matthew nagy botrányt rendezett; levelet írt a *Gardener's Chronicle* című lapnak, amikor látta, hogy mindenki Darwinnak tulajdonítja az ötletet, ami először neki jutott az eszébe. Darwin azonnal mentegetőzött, bár megjegyezte: „Azt hiszem, senki nem lepődik meg, ha elmondom, hogy sem én, sem más természettudósok nem hallottunk korábban Matthew úr nézeteiről, amelyeket ő sajnos csak igen röviden, és egy hajófáról és fatermelésről szóló munka függelékében fejtett ki."

Wallace még ötven évig foglalkozott természetrajzzal és filozófiával, néha egészen kitűnően, de egyre távolabb került a tudománytól, amikor érdeklődése elkezdett olyan gyanús területekre is kiterjedni, mint a spiritizmus és annak lehetősége, hogy a világegyetemben esetleg máshol is létezhet élet. Így az elmélet végül Darwiné maradt.

Darwint élete végéig gyötörte a kétség. Saját magát „az ördög káplánjának" nevezte, és azt mondta, hogy elméletének kifejtése olyan volt számára, „mintha gyilkosságot gyónna meg". Ráadásul tudta, hogy gondolatai mélyen sértik szeretett, istenfélő feleségét. Mindezek ellenére az előadás után hozzálátott, hogy kéziratából könyvet írjon. Először úgy tervezte, *An Abstract ofan Essay on the Origin of Species and Varieties through Natural Selection* (A fajok és variációk természetes kiválasztódással való létrejöttéről szóló elmélet kivonata) lesz a címe, de ez olyan gyenge cím volt, hogy a kiadó, John Murray csak 500 példány kiadásába egyezett bele. Amikor viszont megkapta a kéziratot, és Darwin kitalált egy jobb címet, az első kiadás példányszámát már 1250-ben állapították meg.

A fajok eredete kereskedelmileg azonnal sikeres lett, tudományosan azonban nem. Darwin elmélete két megoldhatatlan problémát vetett fel. A Föld korát sokkal magasabbnak tételezte fel, mint amibe Lord Kelvin beleegyezhetett volna, és nem sok őskövület-bizonyíték támasztotta alá. Darwin gondolkodó kritikusai azt kérdezték, vajon hol vannak az elméletében felvetett átmeneti alakok? Ha az új fajok folyamatosan jönnek létre, akkor az átmeneti példányok egyikének-másikának meg kellett volna kövülnie, de ilyet senki nem talált.[81] Valójában ekkor még (és még jó sokáig) egyetlen leletet sem találtak, ami a híres kambriumi robbanás előtti lett volna.

És most itt van ez a Darwin, aki mindenféle bizonyíték nélkül azt állítja, hogy az őstengerekben már volt élet, csak nem találtuk még meg, mert valamilyen okból nem maradt fenn a nyoma – máshogyan nem is történhetett. Mint maga is őszintén beismerte, „az ügy ebben a pillanatban még megmagyarázhatatlan, és ez jó érv az itt előadottakkal szemben", de ragaszkodott hozzá, hogy nincsen más lehetőség. Tévesen, de találékonyan felvetette, hogy lehetséges, hogy a kambrium előtti tengerekben nem volt elég üledékképző anyag, ezért nem maradtak fenn ős-kövületek.

Még Darwin legközelebbi barátait is zavarták állításai. Adam Sedgwick, aki Cambridge-ben a tanára volt, és 1831-ben elvitte őt Walesbe egy geológiai kutatóútra, azt mondta, a könyv „több fájdalmat okoz, mint örömet". Louis Agassiz, a híres svájci őslénykutató szerint Darwin csupán találgatott. Még Lyell is úgy gondolta: „Darwin túl messzire megy."

T. H. Huxleynak nem tetszett, hogy Darwin elmélete feltételezi, hogy a Föld sokkal öregebb, mint gondolták, mert ő maga az ugrásszerű átalakulásban hitt, tehát abban, hogy az evolúciós változások

nem fokozatosan, hanem hirtelen következnek be. A hozzá hasonló szaltacio-nisták (a szó a latin „ugrás” szóból származik) nem fogadták el, hogy a bonyolult élőlények lassanként fejlődtek ki. Mert ugyan mire lenne jó egy szárny egytizede vagy egy negyed szem? Ezeknek a szerveknek csak akkor van értelme, ha befejezett állapotban jelennek meg.

Ez a hiedelem kicsit meglepő egy olyan radikális elmétől, amilyen Huxley volt, mert nagyon hasonlít ahhoz a konzervatív vallási elképzeléshez, amelyet először William Paley angol teológus fogalmazott meg 1802-ben: a tervezési istenérvhez. Paley úgy érvelt, hogy ha valaki zsebórát talál a mezőn, akkor, még ha ilyet azelőtt soha nem látott volna is, fel kell tételeznie, hogy azt egy gondolkodó lény hozta létre. Így van ez a természettel is; bonyolult szerkezete maga a bizonyíték arra, hogy valaki eltervezte. Ez a gondolat erősen hatott a XIX. században, és Darwinnak is meg kellett küzdenie vele. „A negyed szem mind a mai napig kísért” – vallotta meg egy barátjának írt levelében. A fajok eredetében pedig ezt írta: „beismerem, hogy a lehető legnevetségesebb lenne”, ha a természetes kiválasztódás során egy ilyen szerv fokozatosan fejlődne ki.

Támogatói végtelen elkeseredésére Darwin még így is nemcsak hogy nem változtatta meg a fokozatos fejlődésről vallott nézeteit, de *A fajok eredete* minden újabb kiadásában egyre több időt látott szükségesnek a törzsfejlődés jelenlegi szintre jutásához, és ezzel még több ellenséget szerzett. Jeffrey Schwartz természettudós és történész szerint „Darwin végül elveszítette minden támogatóját a természetrajzzal és geológiával foglalkozók körében”.

Érdekes, hogy *A fajok eredeté*ben éppen a fajok eredetét nem tudta megmagyarázni. Darwin elmélete megmagyarázza, hogy egy faj hogyan lesz erősebb, jobb vagy gyorsabb – tehát alkalmasabb az életre –, azt viszont nem, hogy hogyan jönnek létre új fajok. Fleeming Jenkin skót mérnök elgondolkodott a problémán, és észrevett egy hibát Darwin gondolatmenetében. Darwin úgy gondolta, hogy egy nemzedék előnyös tulajdonságait a következők öröklik, és így erősödnek a fajok. Jenkin rámutatott, hogy az egyik szülő kedvező tulajdonsága nem lesz domináns a következő generációkban, hanem összekeveredik a rosszabb tulajdonságokkal, és így gyengül. Ha például egy adag whiskyt egy pohár vízbe öntünk, attól az nem lesz erősebb, sőt felhígul. És ha ezt az oldatot még egy pohár vízhez keverjük, tovább gyengül. Ugyanígy, ha egy szülőnek valamilyen kiemelkedő tulajdonsága van, az az utódokban addig csökken, amíg végül el nem tűnik. Tehát Darwin receptje szerint nem változás következik be, hanem állandóság. Néha persze történhetnek szerencsés véletlenek, de ezek hamarosan megszűnnek, mert minden a biztonságos középszerűség felé törekszik. A természetes kiválasztódáshoz szükség lenne egy másféle módszerre.

Darwin és a többiek nem tudták, hogy közben Kelet-Európa egy nyugodt sarkában egy Gregor Mendel nevű visszahúzódó szerzetes éppen megtalálta a megoldást.

Az osztrák Mendel 1822-ben született Csehországban, ami akkor az Osztrák-Magyar Monarchiához tartozott. A régebbi tankönyvek egyszerű, okos vidéki szerzetesként írják le, aki a felfedezéseit elsősorban a szerencséjének köszönhette: a rendház konyhakertjében dolgozva az öröklődés érdekes tulajdonságait vette észre. Valójában Mendel képzett természettudós volt – fizikát és matematikát tanult az Olmützi Filozófiai Intézetben és a Bécsi Egyetemen –, és minden feladatot tudományos módszerességgel végzett. Ehhez járul még az is, hogy a brünni kolostor, ahol 1843-tól kezdve élt, híres volt a jól képzett szerzeteseiről. Húszezer kötetes könyvtára volt, és hagyományai közé tartozott a körültekintő tudományos kutatás.

Mielőtt Mendel kísérletezni kezdett volna, két évet töltött a kontroll-példányok előkészítésével. Hét borsóváltozattal dolgozott, hogy biztosan változatlan típust követve szaporodjanak. Utána két teljes

munkaidőben dolgozó munkatársával 30 000 borsónövény hibridjeit szaporította és keresztezte. Kényes munka volt; a három embernek mindent meg kellett tennie, hogy elkerüljék, hogy a növények egymást nemkívánatos módon termékenyítsék meg, és fel kellett jegyezniük minden apró eltérést, amelyet a borsószemek, hüvelyek, levelek, szárak és virágok növekedésében és kinézetében észrevettek. Mendel pontosan tudta, hogy mit csinál.

Soha nem használta a gén szót – a kifejezés először 1913-ban jelent meg egy angol orvosi szótárban –, de neki köszönhetjük a domináns és recesszív öröklődéstani kifejezéseket. Megállapította, hogy minden magban két faktor van – ezeket elemeknek hívta –: egy domináns és egy recesszív, és ezen faktorok ismeretében előre meg lehet mondani, hogy mi lesz egy-egy keresztezés eredménye.

Az eredményeket pontos matematikai képletekkel írta le. Bár nyolc évet töltött a kísérletekkel, utána megismételte azokat virágokkal, kukoricával és más növényekkel is, hogy megerősítse eredményeit. Mendel minden egyéb híreszteléssel ellentétben túl tudományosan közelítette meg a problémát; ez abból is lemérhető, hogy amikor 1865 februárjában és márciusában előadta elméletét a Brünni Természetrajzi Társaságban, a mintegy negyvenfős hallgatóság udvariasan végighallgatta, de szembetűnő volt, mennyire nem érdeklik őket az előadottak, pedig a növénytermesztés amúgy a tagok nagy részét érdekelte.

Amikor Mendel eredményei nyomtatásban is megjelentek, reménykedve elküldött egy példányt Karl-Wilhelm von Nageli svájci növénytudósnak, akinek a támogatása többé-kevésbé elengedhetetlen volt az új elmélet elfogadtatásához. Sajnos Nageli nem értette meg, Mendel milyen fontos dolgot fedezett fel. Azt javasolta, próbálja meg a kísérletet erdei hölgymállal is. Mendel azonnal hozzáfogott, de hamarosan rájött, hogy ennek a növénynek nincsenek olyan szembetűnő tulajdonságai, amelyeken az öröklődést vizsgálhatná. Nageli nyilvánvalóan nem olvasta elég figyelmesen Mendel tanulmányát, vagy esetleg egyáltalán nem. Mendel csalódottságában abbahagyta az öröklődés tanulmányozását, és élete hátralevő részében különleges zöldségeket termesztett, és többek között méheket, egereket és napfoltokat tanulmányozott. Kinevezték rendfőnökké is.

A közhiedelemmel ellentétben Mendel eredményeinek ennek ellenére volt némi hatása. Az *Encyclopaedia Britannica,* ami akkoriban fontosabb tudománytörténeti forrás volt, mint ma, például tiszteletteljes szócikkel emlékezik meg róla, és a német Wilhelm Olbers Focke egy fontos tanulmánya is ismételten idézi. Valójában Mendel gondolatai soha nem süllyedtek a tudományos gondolkodás felszíne alá, ezért is volt olyan könnyű felélesztени őket, amikor a világ végre készen állt befogadásukra.

Darwin és Mendel, bár nem tudtak róla, együtt alapozták meg a XX. század összes élettel foglalkozó tudományát. Darwin látta, hogy minden élőlény egymás rokona, mert „ugyanattól az ősi forrástól származik”, Mendel eredményeivel pedig le lehetett írni, hogy ez hogyan történhetett. A két tudós könnyen támaszkodhatott volna egymásra. Mendelnek megvolt *A fajok eredete* egy német kiadása, és tudjuk is, hogy olvasta. Tehát fel kellett volna ismernie, hogy saját elmélete előmozdíthatta volna Darwinét, de nem tudunk róla, hogy megpróbált kapcsolatba kerülni az angol tudóssal. Azt is tudjuk, hogy Darwin olvasta Focke fontos dolgozatát, amelyben ő többször is Mendelre hivatkozik, de nem hozta kapcsolatba saját munkájával.

Egy dolog biztosan nem szerepelt Darwin érvelésében: hogy az ember a majomtól származik, legfeljebb egy futó utalást lehet benne így értelmezni. De nem kellett hozzá nagy képzelőerő, hogy levonják a következtetést az ember kifejlődésére, és a kérdés azonnal közbeszéd tárgya lett.

Az erők összemérésére 1860. június 30-án került sor, egy szombati napon, a Brit Társaság a Tudomány Haladásáért nevű szervezet oxfordi találkozóján. Robert Chambers, *A teremtés természetrajzá-*

nak nyomai szerzője (még mindig az anonimitás biztonságában) biztatta Huxleyt, hogy vegyen rajta részt. Darwin nem volt ott (nem is szokott). Az ülést az Oxfordi Állattani Múzeumban tartották. Több mint ezerfős közönség zsúfolódott be a terembe, több százan be sem jutottak. Mindenki érezte, hogy nagy dolog van a levegőben. Először ki kellett várni, hogy a New York-i Egyetem egy John William Draper nevű, monoton beszédű professzora megtartsa mintegy kétórányi bevezetését *The Intellectual Development of Europe Considered with Reference to the Views of Mr. Darwin* (Európa szellemi fejlődése Mr. Darwin nézeteinek fényében) címmel.

Végül Samuel Wilberforce, Oxford püspöke kezdett beszélni. A püspököt valószínűleg Darwin egyik legelszántabb ellenzője, Richard Owen tájékoztatta az elméletről, hiszen előző nap szállóvendég volt nála. Mint ahogyan az általában a nagy zűrzavart okozó ügyek esetében lenni szokott, több különböző beszámoló készült arról, hogy valójában mi is történt. A legnépszerűbb változat szerint Wilberforce a vita hevében száraz mosollyal az arcán Huxleyhoz fordult, és megkérdezte, nagyanyja vagy nagyapja vonalán áll-e rokonságban a majmokkal. Szellemességnek szánta, de inkább barátságtalan kihívásnak hangzott. Saját elbeszélése szerint Huxley ekkor ezt súgta a mellette ülőnek: – Az Úr a kezembe adta Őt! –, majd nagy élvezettel felemelkedett, hogy válaszoljon.

Mások viszont úgy emlékeznek, hogy Huxley annyira megbotránkozott, hogy remegett a dühtől. Mindenesetre tudjuk, hogy válasza szerint inkább lenne egy majom rokona, mint olyan valakié, aki magas méltóságát kihasználva tudatlanul locsog egy komoly tudományos fórumon. Ez a válasz botrányos arcátlanság volt mind Wilberforce-szal, mind tisztségével szemben, és az ülés azonnal botrányba fulladt. Egy Brewster nevű nemes hölgy elájult. Robert FitzRoy, aki Darwin útitársa volt a *Beagle*-ön huszonöt évvel korábban, fel-alá járkált az előcsarnokban, a kezében magasra tartott Bibliával, és ezt üvöltötte: – A Könyv! A Könyv! (Ő éppen egy új intézmény, a meteorológiai intézet vezetőjeként készült előadást tartani a viharokról.)

Azt, hogy rokonságban állunk az emberszabású majmokkal, Darwin végül 1871-es *The Descent of Man* (Az ember származása) című tanulmányában mondta ki. Merész következtetés volt, hiszen egyetlen őskövület sem támasztotta alá. Akkoriban az egyetlen ősemberlelet a német Neander-völgyi ember volt, nem számítva néhány bizonytalan eredetű állkapocsdarabot, és még ezeket sem mindenki fogadta el. Az ember származása sokkal több vitára adott alkalmat, mint *A fajok eredete*, de mire megjelent, a világot már nem lehetett olyan könnyen tűzbe hozni, ezért csak kisebb felháborodást okozott.

Darwin idősebb korában legnagyobbrészt más témákon dolgozott, amelyeknek nem volt sok közük a természetes kiválasztódáshoz. Hihetetlenül sok időt töltött madárürülék vizsgálatával; arra kereste a magyarázatot, hogy a növényi magvak hogyan kerülnek egyik földrészről a másikra. Sok éven keresztül tanulmányozta a férgek viselkedését is. Egyik kísérletében zongorázott nekik – nem szórakoztatni akarta őket, hanem megfigyelte, hogyan hat rájuk a hang, illetve általánosabban a rezgés. Ő fedezte fel, hogy a férgek milyen fontos szerepet játszanak a talaj termőképességének javításában. A témáról szóló *The formation of vegetable mould, through the action of worms* (A veteményes föld kialakulása a férgek tevékenysége által) című mesterművében így írt: „Kétlem, hogy sok más állat lenne, amely ilyen nagy szerepet játszott a világ történelmében.” Ez a könyv sokkal népszerűbb volt, mint *A fajok eredete* valaha is. Egyéb művei: *On the various contrivances by which British andforeign orchids arefertilised by insects* (A különféle módok, amelyekkel a rovarok megtermékenyítik a brit és a külföldi orchideákat, 1862); *The expression of the emotions in man and animals* (Az emberek és állatok érzelmeinek kifejezése, 1872) – ebből az első napon majdnem 5 300 példány fogyott el; *The Effects of Cross and Self-Fertilisation in the Vegetable Kingdom* (A keresztezés és az önmegtermékenyítés

hatásai a növények országában, 1876) – ennek tárgya szinte valószínűtlenül közel járt Mendel művéhez, de következtetéseik még csak nem is hasonlítottak; és *The Power of Movement in Plants* (A növények mozgási képessége). Végül, de nem utolsósorban, sokat foglalkozott a beltenyésztés következményeivel – ez számára személyes okokból is fontos volt, mivel saját unokatestvérét vette feleségül, és nem tudott szabadulni a szomorú gondolattól, hogy a gyermekei között jelentkező fizikai és szellemi gyengeségek nem innen erednek-e.

Darwin sokféle elismerést kapott élete során, de egyet sem *A fajok eredetéé*rt vagy *Az ember származásá*ért. Amikor a Királyi Társaság a tekintélyes Copley-érdeméremmel tüntette ki, azt geológiai, állat- és növénytani munkásságáért kapta. A Linné Társaság hasonlóan elismerte őt, leszámítva radikális nézeteit. Soha nem ütötték lovaggá, de a Westminster Apátságban temették el, Newton mellé. Downban halt meg 1882 áprilisában, két évvel Mendel előtt.

Darwin elméletét az 1930-as és 40-es évekig soha nem ismerték el szélesebb körben; akkor viszont megjelent egy új elmélet, amelyet kicsit fennhéjázóan modern szintézisnek neveztek, mert szerepeltek benne Darwin és Mendel elképzelései, és másokéi is. Mendelt is csak a halála után ismerték el, bár kicsit hamarabb, mint Darwint. 1900-ban három egymástól függetlenül dolgozó európai tudós szinte egyszerre kezdett el Mendel munkájával foglalkozni. Csak amikor egyikük, egy Hugo de Vries nevű holland azt állította Mendel gondolatairól, hogy neki jutottak először eszébe, akkor jelentkezett a másik két kutató egyike (a német Carl Correns), és ekkor az elfeledett szerzetest végre elismerték.

A világ majdnem készen állt annak megértésére, hogyan is jutottunk idáig: hogyan hoztuk egymást létre. Igazán furcsa elgondolni, hogy a XX. század elején, és még utána néhány évig, a világ legnagyobb tudós elméi sem tudták tudományosan elmagyarázni, honnan lesznek a kisbabák.

És, ahogyan emlékezhetünk, ezek voltak azok a tudósok, akik úgy gondolták, már majdnem mindent tudunk.

26.
AZ ÉLET ANYAGA

Ha valakinek a két szülője nem pontosan akkor lett volna együtt, amikor azt tették – tehát abban a másodpercben, sőt esetleg abban a nano-szekundumban –, akkor ez a valaki nem született volna meg. És ha az ő szüleik nem úgy időzítettek volna, ahogyan tették, akkor sem. És ha az ő szüleik, és így tovább, nyilvánvaló, végtelen sorban.

Menjünk vissza az időben, és nézzük meg, hány ősünk is volt. Csak nyolc nemzedéket pörgessünk vissza, körülbelül addig az ideig, amikor Darwin és Lincoln megszülettek, és máris több mint 250 embert találunk, akiknek a megfelelő pillanatban kellett utódot nemzenie, hogy a mai ember megszülessen. Ha még messzebb megyünk, mondjuk Shakespeare koráig, már 16 384 ősnek kellett pontosan időzítve genetikai anyagot cserélnie ahhoz, hogy mi itt legyünk.

Húsz nemzedékkel ezelőtt az emberek száma, akik a mai egyetlen ember érdekében egyesültek, már 1 048 576. Öt nemzedékkel korábban nem kevesebb mint 33 554 432 férfinak és nőnek kellett a megfelelő párt kiválasztania a megfelelő pillanatban, a nemes cél érdekében. Harminc nemzedékkel előttünk közvetlen őseink száma – és itt szó sincsen unokatestvérekről és nagybácsikról, szigorúan csak szülőkről és az ő szüleikről – több mint egymilliárd. Végül, ha hatvannégy generációt tekintünk át, visszajutunk a római korba, és azt látjuk, hogy a feltételezett ősök száma egymillió billió – több ezerszer annyi, mint ahányan valaha összesen a Földön éltek.

Tehát a számításunkba valahol hiba csúszott. A megoldás természetesen az, hogy vérvonalunk nem ilyen tiszta. Nem lennénk itt, ha egy kis (sőt, sok) vérfertőzés nem történt volna egyszer-egyszer őseink között, a genetikailag megfelelő távolságot megtartva. Ha ilyen sok millió ősünk van, sokszor meg kellett hogy történjen, hogy valamelyik anyai ős rokona az egyik apai őssel nemzett utódot. Valójában, ha az olvasó házastársa vele azonos bőrszínű és nemzetiségű, kiváló esélye van rá, hogy valamilyen szinten rokonok legyenek. Sőt, ha körülnézünk egy buszon, parkban vagy kávézóban, a legtöbb ember, akit látunk, valószínűleg szintén rokon. Tehát ha legközelebb valakit arról hallunk dicsekedni, hogy Shakespeare vagy Hódító Vilmos szerepel a családfáján, nyugodtan felelhetjük, hogy a miénken is. Szó szerint, a legalapvetőbb értelemben, egy család vagyunk.

Hátborzongatón hasonlítunk is. Ha génjeinket összehasonlítjuk egy embertársunkéval, körülbelül 99,9% egyezést találunk. Ez jelenti azt, hogy egy faj vagyunk. A maradék 0,1%-ban lévő kis különbségek – „körülbelül egy nukleotidbázis minden ezerből” (John Sulston Nobel-díjas brit genetikus szavai) – adják egyéniségünket. Az elmúlt években sok szó esett az emberi géntérkép elkészítéséről. Valójában ilyen nincsen, hiszen minden genom, így minden ember, különbözik. És genomjaink végtelen újrakombinálódása – tehát mindig két olyané, amelyek majdnem egyformák, de csak majdnem – által leszünk azok, amik vagyunk, mind egyénként, mind fajként.

De pontosan mi is az a genom? És mik azok a gének? Nos, kezdjük ismét a sejtnél. Ebben van a sejtmag, abban pedig a kromoszómák: negyvenhat bonyolult kis csomag, amelyek közül huszonhármat apánktól, huszonhármat anyánktól kaptunk. Testünk szinte minden sejtje – mondjuk, hogy 99,999%-a ugyanezt a kromoszómakészletet tartalmazza. (A kivételek – a vörösvérsejtek, az immunrendszer egyes sejtjei és az ivarsejtek – különféle szerveződési okok miatt nem tartalmazzák a teljes genetikai készletet.) A kromoszómákban van minden utasítás, ami az ember létrehozásához és életben tartásához

kell; hosszú szálak, amelyek egy kémiai csodaszerből, a dezoxi-ribonukleinsavból (DNS) állnak; ez a Föld legkülönlegesebb molekulája.

A DNS-nek egyetlen feladata van: további DNS létrehozása – és hatalmas mennyiség van belőle szervezetünkben: majdnem minden sejtben majdnem két méter. Minden ilyen DNS-darabban 3,2 milliárd jel van, amelyekből $10^{3\,480\,000\,000}$ különböző kombináció hozható létre, Christian de Duve szavaival: „ez garancia arra, hogy mindenki egyedi legyen”. Ez bizony igen sok lehetőség: egy egyes, és utána több mint 3 milliárd nulla. De Duve: „Csak magának a számnak a kinyomtatásához több, mint ötezer átlagos méretű könyvre lenne szükség.” Nézzük meg magunkat a tükörben, és gondolkodjunk el egy pillanatra: tízezer billió[82] sejtünk van, és majdnem mindegyikben két méter összehajtogatott DNS. Talán most már inkább el tudjuk képzelni, hogy mennyi is van ebből az anyagból bennünk. Ha összes DNS-ünket egyetlen szállá sodornák, elérne nemcsak a Földtől a Holdig és vissza, hanem újra és újra. Egy számítás szerint mintegy 20 millió kilométernyi DNS van bennünk összetekerve.

Testünk tehát szeret DNS-t gyártani; nélküle nem is élnénk. Maga a DNS viszont nem él. Egyetlen molekula sem él, de – ha lehet ilyet mondani – a DNS aztán tényleg nem. Ez „az élővilág molekulái közül a legkevésbé kreatív; a legtehetetlenebb”, legalábbis Richard Lewontin genetikus szerint. Ezért lehet újra összeállítani a bűnügyi nyomozások során talált, régen megszáradt vér- vagy spermafoltokból vagy a Neander-völgyi ősemberek csontjából. Azt is megmagyarázza, hogy miért kellett ennyi év a tudománynak, hogy rájöjjön: egy ilyen visszafogott, mondhatni élettelen anyag hogyan kerülhet az élet középpontjába.

A DNS-t régebben ismerjük, mint gondolnánk. 1869-ben fedezte fel a németországi Tübingeni Egyetemen dolgozó svájci Johann Friedrich Miescher. A sebészeti kötésekben maradt nedvek mikroszkópos vizsgálatakor Miescher talált egy ismeretlen anyagot, amelyet nukleinnek nevezett el (mivel a sejtmag – nucleus – belsejében találta). Akkoriban nem vizsgálta tovább az új anyagot, de biztos, hogy nem felejtette el, mivel huszonhárom évvel később egy nagybátyjához írt levelében megemlítette, hogy lehetségesnek tartja, hogy ezek a molekulák állnak az öröklődés hátterében. Ez hihetetlen felismerés volt, de annyira megelőzte korát, hogy senki nem figyelt fel rá.

A következő fél évszázad legnagyobb részében úgy gondolták, hogy az anyag, amelyet most már dezoxiribonukleinsavnak neveztek, legfeljebb másodlagos szerepet játszik az öröklődésben. Ahhoz túl egyszerű. Csak négy alapösszetevője van, a nukleotidok, ami olyan, mintha négybetűs ábécével próbálkoznánk. Hogyan is lehetne megírni az élet történetét egy ilyen primitív ábécével? (A válasz ugyanaz, ami a Morse-ábécé esetében: ha a pontokat és vonásokat megfelelően kombináljuk, segítségükkel bármilyen bonyolult üzenet megfogalmazható.) Amennyire tudták, a DNS semmit nem tesz, csak ott van a sejtmagban; esetleg a kromoszómák összekötéséhez kell, vagy egy kis savasságot biztosít, amikor arra szükség van, vagy más egyszerű feladatot teljesít, amit még nem ismerünk. Akkoriban az volt a tudomány álláspontja, hogy az élet bonyolultságának megfelelő összetettség a sejtmag fehérjéiben kell hogy legyen.

Ha a DNS-t kihagyjuk a képből, két dologgal kell szembenéznünk. Először is, sok van belőle – minden sejtmagban majdnem két méter –, tehát biztos, hogy a sejtek valamiért fontosnak tartják. Ráadásul kezdett olyan lenni, mint a krimikben a gyanúsított: állandóan felbukkant a kísérletek során. Volt két kísérlet, az egyik a *Pneumococcus* baktériummal, a másik bakteriofágokkal (baktériumokat fertőző vírusokkal) kapcsolatban, amelyekben a DNS olyan fontosnak mutatkozott, hogy ezt csak azzal

tudták magyarázni, hogy mégiscsak nagyobb szerepe van, mint ahogyan korábban gondolták. A tények arra utaltak, hogy a DNS lényeges eleme az élet egyik legfontosabb folyamatának, a fehérjék előállításának. Ugyanakkor azt is tudták, hogy a fehérjék a sejtmagon kívül készülnek, nem a DNS közelében – akkor az hogyan irányíthatja összeállításukat?

Senki nem tudta, a DNS hogyan küldhet üzeneteket a fehérjéknek. Ma már tudjuk, hogy ennek kulcsa az RNS, vagyis ribonukleinsav, amely a kettő közötti hírvivő szerepét tölti be. A biológia érdekes furcsasága, hogy a DNS és a fehérjék külön nyelvet beszélnek. Majdnem négymilliárd éve működnek együtt, mégis más a kódjuk, mintha az egyik spanyol, a másik pedig hindi nyelven beszélne. A kommunikációhoz szükség van egy tolmácsra, és ez az RNS. Az RNS-ek egy riboszóma nevű közvetítőt alkotnak, ahol a sejt DNS-től jövő információi olyan üzenetekké alakulnak, amelyek értelmezhetők a fehérjék számára.

A XX. század elején viszont, ahol most történetünket folytatjuk, a kutatók még igen távol voltak ennek felfedezésétől, illetve az öröklődés egész bonyolult kérdésének átlátásától.

Itt volt az ideje, hogy valaki előálljon az ötlettel és kitalálja a megfelelő kísérleteket. Szerencsére fel is tűnt egy fiatalember, aki elég szorgalmas és rátermett volt ezek végrehajtásához. Thomas Hunt Morgan 1904-ben – alig négy évvel Mendel borsókísérleteinek újrafelfedezése után, és egy évtizeddel azelőtt, hogy a gén szót kitalálták volna – módfelett érdekes dolgokat kezdett véghezvinni kromoszómákkal.

A kromoszómákat véletlenül fedezték fel 1888-ban, és azért lett ez a nevük, mert jól festhetők, és ezért könnyen láthatók mikroszkóppal. A századforduló környékén már gyanították, hogy közük lehet a tulajdonságok átadásához, de ebben senki nem volt biztos, és nem tudták, hogyan működnek.

Morgan egy kis törékeny legyet választott kísérletéhez, a *Drosophila melongaster*t, magyarul gyümölcslegyet vagy muslicát. Ez az a kis tiszavirág életű, színtelen rovar, amely valamilyen titokzatos okból szeret belefulladni a poharunkba. Kísérleti állatként három nagyon vonzó tulajdonsággal rendelkezik: kosztjuk és kvártélyuk szinte ingyen van (egy tejesüvegben több milliót lehet kitenyészteni); tíz napon belül a petéből szaporodóképes állat lesz, és csak négy kromoszómája van, tehát viszonylag egyszerű szerkezet.

A New York-i Columbia Egyetem Schermerhorn Laboratóriumának egy kis helyiségében (amelyet hamarosan csak mint légyfogót emlegettek) Morgan és munkatársai módszeres tenyésztésbe és keresztezésbe kezdtek több millió muslicával (van, aki szerint többmilliárddal, bár ez valószínűleg túlzás). Minden egyes állatot megfogtak csipesszel, és ékszerésznagyítóval vizsgálták őket, hogy észrevegyék közöttük az apró, örökletes eltéréseket. Hat éven keresztül próbálkoztak mutációk létrehozásával mindenféle módon: sugárzásnak, például röntgensugaraknak tették ki őket, állandóan fényben, illetve sötétségben tartották őket, sütőben aszalták, és centrifugában pörgették szegény gyümölcslegyeket – és nem történt semmi. Morgan már majdnem feladta, amikor hirtelen felbukkant egy mutáció, amelyet meg is tudtak ismételni: a szokásos vörös szemű muslicák mellett megjelentek a fehér szeműek. Eme áttörés után a kutatók már létre tudtak hozni használható mutációkat, amelyeket azután végigkövettek a nemzedékek során. Így fel tudták mérni, milyen kapcsolatok állnak fenn egyes tulajdonságok és a kromoszómák között, és végül mindenki megelégedésére bebizonyították, hogy a kromoszómák állnak az öröklődés középpontjában.

A gondot a biológia következő szerveződési szintje jelentette: a titokzatos gének és az őket alkotó DNS. Ezeket már sokkal nehezebb volt elkülöníteni és értelmezni. Még 1933-ban is, amikor Morgan Nobel-díjat kapott munkásságáért, volt sok olyan kutató, aki nem volt biztos benne, hogy gének egyál-

talán léteznek. Morgan megjegyzése szerint nem létezett arról közmegegyezés, hogy mik a gének, sőt arról sem, hogy léteznek-e. Az olvasót meglepheti, hogy a sejttevékenység szempontjából ennyire alapvető dolognak, a géneknek, a fizikai létezését ennyire nehezen fogadták el. Bár, amint arra Wallace, King és Sanders rámutatnak *Biology: The Science of Life* (Biológia: Az élet tudománya) című könyvükben (ami igazi ritkaság: egy olvasható tankönyv), ma nagyjából ugyanígy állunk az agyi folyamatokkal, például a gondolattal és az emlékezőképességgel. Tudjuk, hogy léteznek, de nem tudjuk, milyen fizikai formában. Sokáig így volt ez a génekkel is. Az a gondolat, hogy ki lehet őket venni a testből, és attól elkülönítve tanulmányozni, olyan különösnek tűnhetett Morgan kortársai szemében, mintha ma azt mondanánk, hogy a tudósok el tudnak fogni egy gondolatot, és mikroszkóp alá tehetik.

Az viszont ekkorra bizonyossá vált, hogy a kromoszómákkal kapcsolatos valami irányítja a sejtek osztódását. Végül 1944-ben, tizenöt év munka után, a manhattani Rockefeller Intézetben a zseniális, bár túlzottan szerény kanadai Oswald Avery vezette kutatócsoportnak sikerült egy rendkívül nehéz kísérlet, amelyben egy ártalmatlan baktériumtörzset fertőzővé tettek idegen DNS-sel, és ezzel bebizonyították, hogy a DNS sokkal több, mint egy passzív molekula, és szinte biztos, hogy ez az öröklődést irányító anyag. Erwin Chargaff osztrák születésű biokémikus később egészen komolyan vetette fel, hogy Avery felfedezéséért legalább két Nobel-díjat kellene adni.

Sajnos Averyt komolyan akadályozta a kutatásban egyik intézeti munkatársa, Alfred Mirsky, egy erős akaratú és barátságtalan fehérjeszakértő, aki mindent megtett, hogy Avery eredményeit megcáfolja – állítólag, még a svéd Karolinska Intézetnél is lobbizott, hogy ne adjanak Nobel-díjat Averynek. Avery ekkor már hatvanhat éves, fáradt ember volt. Nem tudott mit kezdeni a rá nehezedő nyomással, így lemondott intézeti állásáról, és be sem tette többé a lábát a laboratóriumba. Mások hasonló kísérletei is az ő igazát bizonyították, és hamarosan megkezdődött a verseny a DNS szerkezetének felderítéséért.

Ha ennek eredményére fogadni kellett volna az 1950-es évek elején, a favorit a Caltechen dolgozó Linus Pauling lett volna. Ekkoriban ő volt Amerika legjobb vegyésze, valószínű volt tehát, hogy ő fogja megfejteni a DNS szerkezetét. Pauling páratlanul jól határozta meg a molekulák szerkezetét, és ő volt a röntgenes kristálytan úttörője, amelyre nagy szükség volt a DNS felderítéséhez. Kiemelkedő életútja során két Nobel-díjat kapott (1954: kémiai, 1962: béke), de meg volt győződve róla, hogy a DNS szerkezete háromszoros csigavonal, és nem kétszeres, és ebben a meggyőződésében megingathatatlan maradt. Így a győzelem végül négy angolé lett, akik nem dolgoztak együtt, gyakran nem is beszéltek egymással, és mindannyian újoncnak számítottak ezen a területen.

Négyük közül még leginkább Maurice Wilkins volt tudósnak nevezhető, aki a második világháború során közreműködött az atombomba megtervezésében. Rosalind Franklin és Francis Crick a brit kormány bányáinak dolgoztak – Crick a robbantások, Franklin pedig a szénlelőhelyek felderítése terén.

A legeredetibb figura James Watson amerikai csodagyerek volt, aki már gyermekkorában megjelent a *Quiz Kids* című, tehetséges fiatalokat versenyeztető rádióműsorban (így legalább részben ő ihlette J. D. Salingert a *Frannie és Zooey* című és más történeteiben megjelenő Glass család tagjainak megírására), és aki tizenöt éves korában iratkozott be a Chicagói Egyetemre. Huszonkét éves korában már doktori címet kapott, és a híres cambridge-i Cavendish Laboratóriumban helyezkedett el. 1951-ből az esetlen, huszonhárom éves tudósról olyan fényképeket találunk, amelyeken haja összevissza áll, mintha mágnesek húznák mindenfelé.

Crick, aki tizenkét évvel idősebb, ekkor még nem volt doktor, és nem ilyen emlékezetesen torzonborz, viszont kicsit gyakorlatiasabb fiatalember volt. Watson elbeszélése szerint féktelen volt, tolakodóan kíváncsi, mindig kész egy kis derűs vitára, és állandóan fennállt a veszélye, hogy elküldik valahová. Egyikük sem részesült semmiféle biokémiai képzésben.

Feltételezték – mint kiderült, nagyon helyesen –, hogy ha meg lehetne állapítani, milyen alakú a DNS-molekula, kiderülne, hogyan működik. Ezt a lehető legkevesebb munkával kívánták elérni. Watson jókedvűen (bár kicsit alattomosan) megjegyzi *The Double Helix* (A kettős spirál) című önéletrajzi könyvében, „reméltem, hogy a géneket fel lehet deríteni anélkül, hogy kémiát kellene tanulnom". Senki nem szabta meg nekik feladatul, hogy ezen a témán dolgozzanak, sőt egy ponton utasítást is kaptak, hogy hagyják abba a megkezdett munkát. Watson látszólag a kristálytan művészetét sajátította el, Cricknek pedig szakdolgozatot kellett volna írnia a nagy molekulák röntgensugár-elhajlásáról.

Bár a DNS felderítésének dicsősége majdnem minden elbeszélő szerint kettőjüké, az áttörést csak a másik két kutató kísérletei tették lehetővé, amelyek eredményeit ők „véletlenül" felhasználták, hogy Lisa Jardine történész szavaival éljünk. Legalábbis kezdetben jóval előttük járt a londoni King's College két tudósa, Wilkins és Franklin.

Az új-zélandi születésű Wilkins szinte a láthatatlanságig visszahúzódó ember volt. Egy 1998-as, a DNS szerkezetének felfedezéséről (amiért Crickkel és Watsonnal együtt Nobel-díjat kapott 1962-ben) szóló PBS-dokumentumfilmből sikerült teljes egészében kifelejteni Wilkinst.

Négyük közül Franklin volt a legtitokzatosabb figura. Watson *A kettős spirál* című könyvben nem túl hízelgő képet fest róla: mértéktelen, titokzatoskodó, együttműködésre megrögzötten nem hajlandó nőként írja le (ez utóbbi különösen zavarta Watsont), aki szinte készakarva nem volt nőies. Annyit megjegyzett róla, hogy „volt benne némi vonzerő, sőt szép is lehetett volna, ha csak egy kicsit is törődik az öltözködésével", de ebben Franklin nem volt hajlandó megfelelni az elvárásoknak. Wilson: „Még rúzst sem használt, és az angol serdülő kékharisnyák ízlése szerint öltözködött."[83]

Viszont ő készítette a legjobb képeket a DNS lehetséges szerkezetéről méghozzá röntgensugaras kristályszerkezet-vizsgálattal, Linus Pauling módszerével. A módszert korábban már használták a kristályok atomjainak vizsgálatára, de a DNS-molekula ennél bonyolultabb ügy volt. Csak Franklinnek sikerült, ő viszont, Wilkins állandó elkeseredésére, eredményeit senkivel sem közölte.

Az, hogy Franklin nem akarta másokkal megosztani eredményeit nem csak az ő hibája volt. Az 1950-es években a King's College-ban a női tudósokkal olyan szertartásos lekicsinyléssel bántak, amit ma már nehéz elképzelni. Akármilyen régóta dolgozott valaki egy intézményben, akármilyen eredményeket ért el, nem léphetett be az iskola tanári szobájába; egy olyan szobában étkezhetett csak, amely még Watson szerint is „nyomorúságosan szűk" volt. Ráadásul folyamatos nyomás nehezedett rá – néha kifejezetten zaklatták –, hogy ossza meg eredményeit három férfival, akik rettenetesen szerettek volna legalább egy pillantást vetni rájuk, de eszükbe sem jutott, hogy esetleg tisztességesen viselkedhetnének vele. Crick erre később így emlékezett vissza: „Félek, hogy mindig legalábbis leereszkedően viselkedtünk vele szemben." A háromból ketten egy riválisintézményhez tartoztak, a harmadik pedig többé-kevésbé nyíltan szintén az ő pártjukra állt. Nem meglepő, hogy Franklin kulcsra zárta a fiókját.

A Wilkins és Franklin közötti ellentétek jól jöttek Watsonnak és Crick-nek. Bár mindketten szégyentelen birtokháborítást követtek el Wilkins tudományos területén, ő mégis inkább hozzájuk húzott; ez nem meglepő, ha tudjuk, hogy Franklin elkezdett egészen különösen viselkedni. Bár már tudta, hogy a DNS spirális alakú, állította, hogy nem olyan. 1952 nyarán kiragasztott egy hirdetményt a King's College hirdetőtáblájára: „Nagy szomorúsággal tudatjuk, hogy a DNS-spirál 1952. július 18-án, szerdán,

elhalálozott... Reméljük, hogy dr. M. H. F. Wilkins lesz olyan jó, és mond néhány szót az elhunytról." Ahogy remélte, Wilkins megdöbbent és zavarba jött.

Az egésznek az lett a vége, hogy 1953 januárjában Wilkins megmutatta Watsonnak a Franklin által készített felvételeket, „nyilvánvalóan az utóbbi tudta vagy beleegyezése nélkül". Szépítő körülírás, ha azt mondjuk, ezzel sokat segített Watsonnak, aki évekkel később beismerte, hogy ez „kulcsfontosságú esemény volt. Mozgósított minket". Amikor Watson és Crick nagyjából már ismerte a DNS molekula alakját, és méretéről is volt már fogalmuk, megkettőzték erőfeszítéseiket, és úgy tűnt, jó úton haladnak. Egyszer Pauling el akart utazni egy angliai konferenciára, ahol minden valószínűség szerint találkozott volna Wilkinsszel, és talán eleget megtudott volna tőle ahhoz, hogy rájöjjön, hol tévedett. De mindez a McCarthy-korszakban történt, Paulingot feltartóztatták a New York-i Idlewild repülőtéren és bevonták az útlevelét, mondván, hogy túl liberális nézeteket vall, és ezért nem mehet külföldre. Cricknek és Watsonnak még abban is hihetetlen szerencséje volt, hogy Pauling fia éppen a Cavendish Laboratóriumban dolgozott, és mit sem sejtve folyamatosan tudósította őket arról, hogyan halad, vagy éppen áll, apja kutatása.

Watson és Crick rettegett, hogy valaki megelőzi őket, ezért egyre lázasabban dolgozott a problémán. Tudták, hogy a DNS négy összetevőből áll – adeninból, guaninból, citozinból és tiaminból[84] –, és ezek különféle módon párokat képeznek. Watson és Crick keménypapírdarabokból a molekulák alakjának megfelelő darabokat vágtak ki, és ezekből próbáltak DNS-t összerakni. Ennek alapján építettek egy fém építő-modellt – valószínűleg a tudomány történetének leghíresebb, építő játékból készült modelljét –, amely már spirál alakú volt, és meghívták Wilkinst, Franklint és mindenkit, akit érdekelt, hogy tekintsék meg. Aki egy kicsit is otthon volt a témában, rögtön látta, hogy a problémát megoldották. Zseniális nyomozás volt, akkor is, ha esetleg Franklin képe nélkül nem boldogultak volna.

A *Nature* 1953. április 25-i számában megjelent Watson és Crick 900 szavas cikke: „*A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid*" (A dezoxiribonukleinsav szerkezete). Wilkins és Franklin dolgozatai is ebben a számban jelentek meg, de külön. Ebben az időben a világ bővelkedett az eseményekben – Edmund Hillary hamarosan felér az Everest csúcsára, II. Erzsébetet pedig királynővé koronázzák –, ezért az élet titkának felfedezésére nem sokan figyeltek fel. Röviden megemlítették a *News Chronicle*-ben, és ennyi.

Rosalind Franklin nem részesült Nobel-díjban. Petefészekrákban halt meg 1958-ban, harminchét éves korában, négy évvel azelőtt, hogy a többieket kitüntették. Nobel-díjat csak élő tudós kaphat. Franklin betegségét szinte biztos, hogy a munkája során kapott túlzott mértékű röntgensugárzás okozta, amit el lehetett volna kerülni. Brenda Maddox nemrég írt róla egy kiváló életrajzot, amelyben megjegyzi, hogy Franklin ritkán viselt ólomköténytt, és gyakran lépett véletlenül a sugár útjába. Oswald Avery sem kapott Nobel-díjat, és nagyjából el is felejtették, de ő legalább megérte, hogy elméletét bizonyítva láthassa. 1955-ben halt meg.

Watson és Crick felfedezését csak az 1980-as években igazolták. Crick erről így írt egyik könyvében: „DNS-modellünknek huszonöt év kellett, hogy a »könnyen lehet, hogy így van« minősítés helyett »valószínűleg így van« bélyeget kapjon... ma pedig már gyakorlatilag bizonyítást nyert."

De még így is, attól fogva, hogy fény derült a DNS szerkezetére, az örökléstan gyors haladásnak indult, és 1968-ban már megjelenhetett egy „*That Was the Molecular Biology That Was*" (Ennyit a mo-

lekuláris biológiáról) című cikk a Science folyóiratban, amelyben felvetették – tudom, hogy valószínűtlenül hangzik, de így volt –, hogy ebben a tudományágban már szinte nincs is mit felfedezni.

Valójában csak a kezdeteknél tartottak. Még ma sem tudunk mindent a DNS-ről, például azt sem, hogy miért van az, hogy az anyag nagy része semmit nem tesz. DNS-ünk 97%-a ugyanis nem más, mint céltalan hulladék – „limlom" vagy „kódot nem hordozó DNS", ahogyan a biokémikusok ezt kifejezik. Csak helyenként vannak benne az életfunkciókat irányító és szervező részek: a különös, régóta keresett gének.

A gén tulajdonképpen nem több (de nem is kevesebb) egy fehérjegyártási utasításnál. És ezt mármár unalmas megbízhatósággal végzi. Ebben az értelemben olyan, mint a zongora billentyűi: egy hangot ad ki, semmi mást, ami egy kicsit unalmas. De ha többet játszunk le egymás után, végtelenül sokféle akkordot vagy dallamot kapunk. Az összes gén együtt (hogy folytassuk a hasonlatot) eljátssza a létezés nagy szimfóniáját: az emberi genomot.

A genomot tekinthetjük az emberi test elkészítéséhez megadott használati utasításnak is. Általában ezt a hasonlatot szokták használni. Ezt továbbszőve, a kromoszómák benne a fejezetek, a gének pedig az egyes utasítások, amelyek alapján a fehérjék készülnek. Az utasítások szavai a kodonok, ennek betűi pedig a bázisok. A bázisok – a genetikai ábécé betűi – a nemrég említett négy nukleotidból állnak: adeninból, guaninból, citozinból és timinből. Ahhoz képest, hogy milyen fontos feladatuk van, ezek az anyagok egyáltalán nem különlegesek; a guanin például ugyanabból az anyagból van, ami a nevét adó guanó (madárürülék) nagy részét is kiteszi.

Közismert, hogy a DNS-molekula olyan alakú, mint egy kettős csigalépcső, vagy egy megcsavart kötélhágcsó. Ez az alak a híres kettős spirál. A szerkezet hosszanti részei egy dezoxiribóz nevű cukorból vannak, az összekötő szakaszok pedig nukleinsavakból, ezért nevezik dezoxiribo-nukleinsavnak. A „lépcsőfokok" két bázisból állnak, méghozzá kétféleképpen: vagy egy guaninból és egy citozinból, vagy egy timinből és egy adeninből. E betűk – lépcsőfokok – sorrendje a DNS-kód, amelynek feltérképezése volt a Human Genom Projekt feladata.

A DNS különleges csodája az, ahogyan többszöröződik. Amikor elérkezik az idő egy új DNS-molekula létrehozására, a létra középen, hosszanti irányban cipzárként kettéhasad, és a két fél egy-egy új létrát hoz létre. Mivel a fokok nukleotidjeihez csak egyféle másik nukleotid kapcsolódhat, a fél létra alapján egyértelmű, hogy a másik felének milyennek kell lennie. Ha csak az egyik DNS szálunk lenne meg, az alapján is könnyen rekonstruálni tudnánk a hozzátartozó párt. Ha a szál legfelső végén egy guanin helyezkedik el, a másik szálon minden esetben citozinnak kell lennie. A természet így másolja újra és újra a DNS-t, méghozzá hihetetlen sebességgel, mindössze néhány másodperc alatt. DNS-ünk legtöbbször kötelességtudón, pontosan osztódik, de néha – mondjuk egymillió alkalom közül egyszer – egy betű rossz helyre kerül. Ezt nevezik egyszerű vagy pont nukleotid polimorfizmusnak (SNP, single nucleotide polymorphism; gyakran ejtik *sznip*nek is az angol snip, vagyis *nyisszantás* szó miatt). Ezek általában olyan DNS-részekben fordulnak elő, amelyek nem tartalmaznak kódot, ezért a testre nézve semmiféle következménnyel nem járnak. Néha azonban mégsem ez történik. Hajlamosíthatnak betegségre, de hordozhatnak valamiféle előnyt is, például sötétebb bőrszínnel védhetik a testet, vagy több vörösvérsejtje lehet miattuk valakinek, aki nagy magasságban él. Ha elég hosszú idő telik el, ezek a kis módosulások megjelennek az egyénekben és a populációkban is, és ezzel mindkettő kicsit jobban fog különbözni a többiektől.

Az osztódás során finom egyensúly állt be a pontosság és a hibák között. Ha túl sok hiba történik, az élőlény nem fog működni, ha túl kevés, nem fog alkalmazkodni a megváltozott körülményekhez.

Hasonló egyensúlynak kell lennie az élőlények állandósága és megújulási képessége között. Ha valakinek több vörösvérsejtje van, akkor ő, illetve a vele együtt élők könnyebben lélegeznek és mozognak, mert a több vörösvérsejt több oxigént szállít. A vér viszont sűrűbb lesz. Ha túl sok vörösvérsejt van, az olyan megerőltető a szívnek, „mintha olajat kellene szivattyúznia” (Charles Weitz, a Temple Egyetem antropológusának megjegyzése). Tehát a nagyobb magasságban élők könnyebben lélegeznek, viszont hajlamosabbak a szívbetegségekre. Így gondoskodik rólunk a Darwin-féle természetes kiválasztódás, és ezért hasonlítunk ennyire egymáshoz. Az evolúció nem engedi meg, hogy túlságosan különbözzünk, kivéve, amikor új faj jön létre.

Az olvasó és az én génjeim közötti 0,1%-os eltérés az SNP-jeink miatt van. Ha az olvasó most génjeit másvalakiéhoz hasonlítaná, vele is 99,9%-osnak találná az egyezést, de az SNP-k legtöbbször máshol lennének. Minél több új embert vizsgálnánk, annál több SNP-t találnánk, annál több helyen. Ha egy ember 3,2 milliárd bázisát tekintjük, mindegyikhez találnánk másokat, akiknek ott más szerepel a DNS-ében. Tehát nemcsak hogy nem létezik „az” emberi genom, de nem létezik „egy” emberi genom sem, csak hatmilliárd. Mindannyian 99,9%-ban egyezünk, de ugyanígy azt is kijelenthetnénk, hogy „semmi nincsen, ami minden emberben egyezik” (David Cox biokémikus szavai), és ez is igaz lenne.

Még mindig nem tudjuk, miért van az, hogy látszólag csak a DNS kis részének van célja. Lehet, hogy ez kicsit megingatja majd a magabiztosságunkat, de azt kell mondanom, hogy az élet célja a DNS fenntartása. DNS-ünk limlomnak tartott 97%-a főként olyan betűkből áll, amelyek, Matt Ridley szerint, „csak azon egyszerű okból léteznek, mert olyan könnyedén sokszorosítják magukat”.[85] Más szóval, a DNS legnagyobb része nem a szervezetet szolgálja, hanem önmagát; az adott élőlény egy gép, amelyet az használ, és nem fordítva. Az élet – mint már említettük – élni akar, és erre a DNS készteti.

De még amikor a DNS adott helyén éppen a gének előállítására való utasítások vannak – tudományosan: géneket kódol –, akkor sem feltétlenül azért történik mindez, hogy az adott szervezet jól működjön. Az egyik legközönségesebb génünk például egy reverz transzkriptáz nevű fehérjét kódol, amelynek jelenlegi ismereteink szerint semmiféle előnyös hatása nincsen az emberre. Sőt, ez teszi lehetővé, hogy a retrovírusok, mint például a HIV, észrevétlenül bejussanak testünkbe.

Más szóval, jelentős energiát fordítunk egy olyan fehérje létrehozására, amely semmi jót nem tesz értünk, sőt, néha csúnya meglepetéseket okoz. Testünk nem ellenkezhet, elő kell állítania, mert a gének erre utasítják. Ki vagyunk szolgáltatva a szeszélyeiknek. Az emberi gének több mint fele – és ez az arány minden eddig vizsgált élőlény közül az embernél a legnagyobb –, amennyire tudjuk, semmit nem tesz, csak reprodukálja önmagát.

Ilyen értelemben minden élőlény saját génjeinek rabszolgája. Ezért lehetséges, hogy egyes lazacok, pókok és még szinte megszámlálhatatlan más lény kész rá, hogy a párzás folyamán elpusztuljon. A szaporodási ösztön, azaz a gének továbbadásának vágya a természet legerősebb késztetése. Sherwin B. Nuland erről így ír: „Birodalmak omlanak össze, személyiségek esnek szét, nagy szimfóniákat írnak, és mindezek mögött egyetlen ösztön áll, amely kielégítést követel.” Az evolúció szempontjából a nemiség csak egy jutalmazási rendszer, amely arra késztet minket, hogy továbbadjuk genetikai anyagunkat.

A tudósok még alig emésztették meg a meglepő újdonságot, hogy DNS-ünk legnagyobb része nem jó semmire, amikor még váratlanabb eredmények kerültek napvilágra. A kutatók először Németor-

ságban, majd Svájcban is furcsa kísérleteket végeztek, amelyek meglepően hétköznapi eredményeket mutattak. Az egyikben fogtak egy, az egér szemének fejlődését szabályozó gént, és behelyezték egy gyümölcslégy lárvájába. Úgy gondolták, valami érdekes, bizarr dolgot kapnak. Valójában az egérszem nem pusztán egy használható szemet, hanem valódi légyszemet hozott létre a gyümölcslégyen. Ennek a két élőlénynek már legalább ötszázmillió éve nem volt közös őse, és az egyik mégis olyan könnyen felhasználta a másik genetikai anyagát, mintha édestestvérek lennének.

És ugyanez történt minden más területen is, ahol csak próbálkoztak. Ha például emberi DNS-t juttattak egyes légysejtekbe, a legyek azt sajátjukként fogadták el. Mint kiderült, az ember génjeinek több mint 60%-a alapvetően megegyezik a gyümölcslegyekével, és legalább 90%-a az egerekével (még faroknövesztő génünk is van, csak nincsen bekapcsolva). A kutatók mindig ugyanoda jutottak: bármilyen élőlényt vizsgáltak – például fonalférget vagy embert –, gyakorlatilag ugyanazokkal a génekkel találkoztak. Az élet, úgy látszik, egyetlen tervrajz változatai alapján épült fel.

A további kutatások során kiderült, hogy van egy csoport fő szabályozó gén, amelyek a test egy-egy részének fejlődését irányítják. Ezeket homeotikus (a szótő görög, jelentése: hasonló) vagy Hox géneknek nevezték el. Ez megadta a választ arra a régen felmerülő kérdésre: hogyan lehetséges, hogy az embriósejtek milliárdjai, amelyek mind egyetlen megtermékenyített petesejtből származnak, és ugyanazt a DNS-t hordozzák, mind tudják, hová menjenek, és ott mit tegyenek – hogy az egyiknek májsejtté kell válnia, a másiknak egy hosszú axonú (nyúlvá-nyú) idegsejtté, vagy egy kis vércseppecske legyen belőle, megint másikból pedig egy fényvisszaverő darabka egy rovar szárnyán. A Hox gének azok, akik erre utasítják őket, és szinte egyformán teszik ezt minden egyes élőlény esetében.

Érdekes, hogy a genetikai anyag mennyisége, sőt szervezettsége nem feltétlenül tükrözi, hogy az adott élőlény mennyire fejlett. Negyvenhat kromoszómánk van, míg egyes páfrányoknak hatszáznál is több. A tüdős-kopoltyús halnak, tehát az egyik legegyszerűbb gerinces állatnak negyvenszer annyi DNS-e van, mint az embernek. Még a közönséges gőte is ötször érdekesebb nálunk, legalábbis genetikai értelemben.

Ezek szerint nem a gének száma számít, hanem az, hogy mihez kezdünk velük. Ez nagyon jó, mert nemrég kiderült, hogy az emberi gének száma kisebb, mint gondoltuk. Korábban azt hitték, hogy legalább százezer génünk van, de az is lehet, hogy jóval több. A Human Genom Projekt első eredményei szerint azonban inkább csak harmincöt-negyven-ezer – körülbelül ugyanannyi, mint a fűben. Meglepő és kiábrándító.

Bizonyára már az olvasó is hallott olyan véleményeket, hogy a gének felelősek ezért vagy azért az emberi gyarlóságért. Időről időre előáll egy-egy büszke tudós, és bejelenti, hogy megtalálta az elhízásra, skizofréniára, homoszexualitásra, bűnözésre, erőszakos viselkedésre, alkoholizmusra, sőt bolti lopásra vagy hajléktalanságra hajlamosító gént. Az ilyen biode-terminizmus egyik csúcspontja (vagy mélypontja?) volt egy 1980-as *Science*-cikk, amely megállapította, hogy a nők genetikailag rosszabb matematikai képességekkel rendelkeznek. Ma már tudjuk, hogy az emberrel kapcsolatban valójában semmi nem ilyen egyszerű.

Ez egy bizonyos értelemben eléggé sajnálatos, hiszen ha pontosan tudnánk, melyik gének felelősek a magasságért, a cukorbetegségre való hajlamért, a kopaszságért és a többi tulajdonságért, akkor (legalábbis viszonylag) könnyű lenne ezeket beállítani. Azonban harmincötezer egymástól függetlenül működő gén kevés az embert jellemző fizikai bonyolultság létrehozásához. A géneknek ezek szerint együtt kell működniük. Egyes betegségeket – például a vérzékenységet, a Parkinson- és a Huntington-kórt és a cisztás fibrózist – valóban egyetlen gén okozza, de a hibás géneket a természetes kiválasztó-

dás általában hamarabb kigyomlálja, minthogy azok egy fajt vagy populációt megkárosíthatnának. Viszont sorsunkat és jóllétünket – de még a szemünk színét is – nem egy-egy gén szabályozza, hanem együttműködő géncsoportok.

Ezért olyan nehéz rájönnünk, hogy az egész hogyan áll össze, és ezért nem fogunk egyhamar előre megtervezett tulajdonságú csecsemőket a világra segíteni.

Az elmúlt években a genetika területén inkább az volt a helyzet, hogy minél többet tudtunk meg, annál bonyolultabbnak tűnt minden. Például kiderült, hogy még a gondolataink is befolyásolják génjeink működését. A szakáll növekedési sebessége például függ attól, hogy az illető mennyit gondol a szexre (mivel az ilyen gondolatok hatására a szervezetben több tesztoszteron termelődik). Az 1990-es évek elején még mélyebb igazságra jöttek rá: eddig létfontosságúnak tartott géneket távolítottak el egérembriókból, azok mégis egészségesen megszülettek, sőt gyakran egészségesebbek voltak alomtársaiknál, amelyek génkészletét nem bolygatták. Amikor ugyanis egyes fontos gének elpusztulnak, mások átveszik feladatukat. Ez egyrészt jó hír minden élőlénynek, másrészt viszont mi még kevésbé tudjuk, hogyan működnek a sejtek, hiszen a gének ezen tulajdonsága még bonyolultabbá tesz egy olyan kérdést, amiről eleve nem sokat tudtunk.

Ezek a bonyolító tényezők nagyban hozzájárulnak, hogy az emberi genom megfejtését ma már csak a megoldás első lépésének tekintik. Eric Lander, az MIT munkatársa szerint a genom az emberi test alkatrészlistája: felsorolja, hogy miből vagyunk, de nem derül ki belőle, hogyan működünk. Előbb-utóbb be kellene szereznünk a használati utasítást is, de ettől még messze vagyunk.

Most tehát a következő feladat az emberi *proteoma* felderítése. Ez a fogalom olyan új, hogy tíz éve még a szó sem létezett. A proteoma a fehérjéket előállító információk gyűjteménye. A *Scientific American* így írt 2002 tavaszán: „Sajnos a proteoma még a genomnál is sokkal bonyolultabb."

És ezzel nem túloztak. A fehérjék végzik, mint már említettük, a legtöbb munkát minden élő rendszerben; minden egyes sejtben egyszerre akár százmillió fehérje is dolgozhat. Ezt szinte el sem lehet képzelni. A dolgot tovább bonyolítja, hogy a fehérjék viselkedése és feladata nem csak a kémiai összetételüktől függ, mint a géneké, hanem az alakjuktól is. Egy fehérje helyes működéséhez nemcsak a megfelelő vegyi összetételre van szükség a megfelelő sorrendben, hanem még megfelelően össze is kell lennie hajtogatva. Azt mondtuk, „összehajtogatva", de itt ne gondoljunk bármiféle mértani rendezettségre. A fehérjék szertelen, összetett alakúra csavarodnak és gyűrődnek. Inkább összevissza tekert drótra gondoljunk, mint szépen összehajtott törölközőre.

A fehérjékről ezenfelül az is elmondható, hogy ők a biológia világának aranyifjai. Hangulatuktól és az anyagcsere pillanatnyi állapotától függően könnyen összeállnak foszforilgyökökkel, glikolokkal, acetilekkel, szulfátokkal, glikofoszfátgyökökkel és még sok mindennel. Gyakran már egészen kevéstől is beindulnak. A *Scientific American* megjegyzése szerint csak meg kell innunk egy pohár bort, és máris jelentősen megváltoztattuk a szervezetünkben lévő fehérjék számát és fajtáját. Ez jó hír a borivóknak, de a genetikusoknak már kevésbé: nem könnyű megmagyarázni ezeket a jelenségeket.

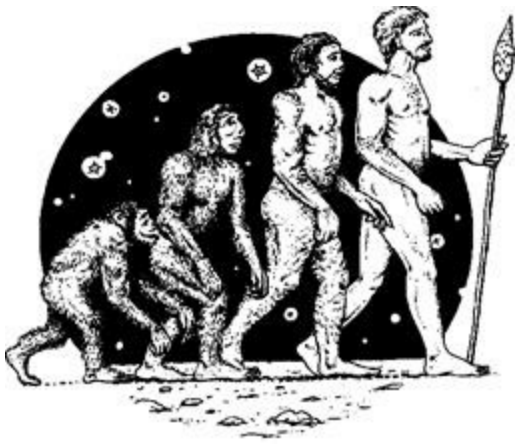
A dolog igen bonyolultnak tűnhet, és számos szempontból az is. Ha viszont a rendszer egészét tekintjük, látni fogjuk, hogy egyszerű összefüggéseken alapul, csakúgy, mint maga az élet, amely alapvetően egységesen működik. A sejteket működtető apró, fürge vegyi folyamatok – a nukleotidok együttes erőfeszítései, a DNS átírása RNS-sé – egyszer csak kifejlődtek, és azóta is nagyjából ugyanúgy működnek. Jacques Monod, a nagy francia genetikus ezt egyszer így fogalmazta meg: „Bármi, ami igaz a

Coli-bacilusra, igaz az elefántra is, csak még sokkal inkább.”

Minden élőlény egy alapmodell változata. Mi, emberek, csak egy újabb kiadás vagyunk, amelyet 3,8 milliárd év alakított a körülményekhez. Érdekes, hogy még a gyümölcsökkel és zöldségekkel is viszonylag szoros rokonságban vagyunk. A banánban végbemenő vegyi folyamatoknak körülbelül a fele alapvetően megegyezik az emberben végbemenőkkel.

Nem tudjuk túlzottan hangsúlyozni: minden élet egy. És ez a legtartósabb és legalapvetőbb igazság.

VI.
A FELÉNK VEZETŐ ÚT



Hogy a majmoktól származnánk! Istenkém, reméljük, hogy nem igaz, de ha mégis, imádkozzunk, hogy ne sokan tudják meg.

A fenti megjegyzést állítólag a worcesteri püspök felesége tette, miután valaki ismertette vele Darwin evolúcióelméletét

27.
JÉGKORSZAK

Álmot láttam, s nem álom volt csupán.
Kihunyt a fényes nap, s a csillagok
az örök térben vaksin tébolyogtak...
Byron Sötétség című verséből
(Tótfalusi István fordítása)

1815-ben az indonéziai Sumbawa szigeten egy Tambora nevű szép, régóta csendes hegy hatalmasat robbant. A kitörés és a keletkező szökőárak során mintegy százezer ember lelte halálát. A ma élő emberek nem láthattak ilyen vad természeti jelenséget, sőt, a Tambora-kitörés nagyobb volt, mint amilyennek ember valaha is tanúja lehetett. Az utolsó tízezer év legnagyobb vulkánkitörése volt, százötvenszer akkora, mint a St. Helens-hegyé, ereje felért körülbelül hatvan hirosimai méretű robbanással.

Akkoriban a hírek lassan jutottak el a világ egyik sarkából a másikba. A londoni *Times*ban megjelent egy rövid hír – voltaképpen egy kereskedő olvasói levele – az esemény után hét hónappal. Ekkorra a kitörés hatása már Európában is érezhető volt. Kétszáznegyven köbkilométer füstös hamu, por és piszok került a légkörbe, ami elég volt ahhoz, hogy elhomályosítsa a napsugarakat, ezért a Föld lehűlt. A naplementék szokatlanul homályosak és színesek voltak; ezt J. M. W. Turner festő meg is örökítette, de talán ő volt az egyetlen ember, aki örömét lelte abban, hogy a dolgok így alakultak, hiszen a világot nyomasztó, szürke fátyol takarta. Ez a halálos homály ihlette Byront a fent idézett sorokra.

A tavasz nem köszöntött be, a nyár szokatlanul hűvös volt, és az 1816-os évet elnevezték a nap nélküli évnek. A termés nagyon gyenge volt. Írországban az éhínség és a vele összefüggő tífuszjárvány hatvanötezer ember halálát okozta. Új-Angliában az évet „ezernyolcszáz fagyhalálnak” nevezték el. Még júniusban is fagyok voltak hajnalonként, és szinte semmi nem kelt ki, amit elültettek. Nem volt elég takarmány, ezért az állatok elpusztultak vagy kényszervágásra kerültek. Minden értelemben borzalmas év volt – a gazdálkodók számára a legrosszabb a történetírás kezdete óta. Pedig globálisan tekintve a hőmérséklet kevesebb mint egy fokkal csökkent. Tanulságos esemény volt tehát; a Föld természetes hőszabályozójával ezek szerint nem szabad babrálni.

A XIX. század eleve hűvös volt. Abba a kétszáz évbe esett, amikor Európában és Észak-Amerikában egy úgynevezett kis jégkorszak zajlott, amely lehetővé tette mindenféle téli események megrendezését: a Temzén jégfesztiválokat tartottak, a hollandiai csatornákon pedig korcsolya-versenyeket rendeztek; ez ma elképzelhetetlen lenne. Más szóval, akkoriban mindenkinek sokat kellett a hidegre gondolnia. Ez lehet az egyik ok, amiért a XIX. század geológusai olyan lassan jöttek rá, hogy a kor, amelyben éltek, tulajdonképpen enyhe időjárással kényeztette őket legalábbis az olyan korábbi korok éghajlatához képest, amikor a Földet olyan gleccserek és fagyok alakították, amelyek lehetetlenné tettek volna bármiféle jégfesztivált.

Tudták, hogy a múltban valami furcsa dolog történhetett. Európában megmagyarázhatatlan leletek bukkantak fel – sarki rénszarvascsontok Dél-Franciaországban, hatalmas sziklák, távol keletkezési helyüktől –, amelyekre egyesek találékony, de nem túl valószínű magyarázatokat találtak. Egy De Luc nevű francia természetbúvár például azt vizsgálta, hogy hogyan kerülhettek gránitsziklák a Jura-hegy-

ség mészkő-magaslataira, és arra a következtetésre jutott, hogy sűrített levegővel teli barlangok lőhették fel őket, mint a dugót a pezsgősüvegből. Lehet, hogy a „nem helyénvaló kő” furcsa kifejezés, de ebben a korban kevésbé vonatkozott a sziklákra, mint a rájuk gyártott elméletekre.

Arthur Hallam, a nagy angol geológus felvetette, hogy ha James Hutton, a geológia XVIII. században élt atyja ellátogatott volna Svájcba, rögtön felismerte volna a kivájt völgyek, lecsiszolt barázdák és a törmelék szállításáról árulkodó sziklanyomok jelentőségét, és észrevett volna más jeleket is, amelyek mind a vonuló jégtáblákról árulkodnak. Sajnos azonban Hutton nem utazott sokat. De még így is, hogy szinte csak mások beszámolóira támaszkodhatott, Hutton mereven elzárkózott a gondolattól, hogy áradások vittek fel 1000 méter magas hegyekre hatalmas sziklákat – mint mondta, a világ minden vize sem fog köveket emelgetni –, és ő lett az első, aki felvetette a kiterjedt eljegesedés elméletét. Sajnos, gondolataira kevesen figyeltek fel, és a következő fél évszázad természettudósai továbbra is ragaszkodtak hozzá, hogy a sziklákon látott rovátkákat szekerek kereke vagy akár szöges csizmák okozták.

A helybéli parasztok azonban nem gondolkodtak tudományosan, ezért hangot adhattak különvéleményüknek. Jean de Charpentier természetbúvár elmeséli, hogy 1834-ben egyszer egy dűlőúton haladt el egy svájci favágóval, és az út menti kövekre terelődött a beszélgetés. A favágó a világ legtermészetesebb tényeként említette, hogy a kövek Grimselből, egy távoli gránitos vidékről valók. „Amikor megkérdeztem, vajon hogyan kerülhettek ide, azonnal válaszolt: – A Grimsel-gleccser rakta le őket a völgy két oldalára, mert az akkoriban Bernig elért.”

Charpentier-nek nagyon tetszett a válasz, mert maga is így gondolta, de amikor elképzelését tudományos találkozókon vetette fel, nem hallgattak rá. Egyik legjobb barátja Louis Agassiz volt, szintén svájci és szintén természettudós. Először ő is kételkedett, de később elfogadta barátja elméletét.

Agassiz Cuvier tanítványa volt Párizsban, és történetünk idején már professzor volt a svájci Neuchâtel főiskolájának természetrajzi tanszékén. Agassiz egy másik barátja, egy Karl Schimper nevű növénytudós találta ki a jégkorszak (németül: Eiszeit) kifejezést 1837-ben, és ő állította először, hogy bizonyítható: a jég nemcsak a svájci Alpokat borította be, hanem Európa, Ázsia és Észak-Amerika jó részét is. Forradalmi gondolat! Kölcsönadta jegyzeteit Agassiznak, amit később keserűen megbánt, amikor egyre inkább Agassizé lett az új elmélet kitalálásának érdeme. Charpentier is hasonlóan járt Agassizzal. Alexander von Humboldt, egy negyedik barátjuk, valószínűleg – legalábbis részben – Agassizra gondolhatott, amikor megjegyezte, hogy a tudományos felfedezések három szakaszra oszthatók: először mindenki tagadja, hogy igazak, később tagadják, hogy fontosak, végül pedig nem azé lesz az érdem, aki eredetileg felvetette az ötletet.

Ezt az új tudományos területet mindenesetre Agassiz uralta. Az eljegesedés folyamatának megismerése érdekében rengeteget utazott – veszélyes szakadékok mélyére és a nehezen megmászható alpesi csúcsokra hatolt; az utóbbiakról gyakran utólag derült ki, hogy ő és csapata elsőként járt ott. Agassiz majdnem mindenütt ellenállásba ütközött; elméletét sehol nem fogadták el. Humboldt többször javasolta, hogy térjen vissza eredeti kutatási témájához, a megkövesült halakhoz, és adja fel őrült rögeszméjét, de Agassiz tántoríthatatlan maradt.

Elméletét Britanniában még ennél is kevésbé támogatták, mivel ott a legtöbb természettudós soha nem látott még gleccsert, és el sem tudták képzelni, hogy a nagy tömegű jég micsoda hatalmas erőt tud kifejteni. – Ezeket a barázdákat és lecsiszolódást jég okozta volna? – kérdezte gúnyosan Roderick Murchison az egyik tudományos ülésen; valószínűleg arra a jégre gondolt, amely a kövek felszínén vékony, fényes bevonatot képez. Halála napjáig nem volt képes elhinni, hogy a „jégbolond” geológu-

soknak igaza lehet abban, hogy a jég igenis nagy szerepet játszott a felszín alakításában. William Hopkins cambridge-i professzor, a Geológiai Társaság egyik vezetője is osztotta ezt az elutasító véleményt, mert szerinte annak, hogy a jég sziklákat helyezzen át egyik helyről a másikba, „nyilvánvalóan abszurd mechanikai következményei” lennének, tehát a gondolatot nem is tartották méltónak a társaság figyelmére.

A rettenthetetlen Agassiz fáradhatatlanul utazgatott, hogy támogatókat keressen elméletéhez. 1840-ben felolvasta egy munkáját a Brit Társaság a Tudomány Haladásáért glasgow-i ülésén, ott azonban a nagy George Lyell nyíltan síkraszállt ellene. A következő évben az Edinburghi Geológiai Társaság elfogadott egy határozati javaslatot, amely szerint lehet, hogy az elmélet általánosságban igaz, de biztos, hogy Skóciában nem.

Lyell végül megtért. Akkor világosodott meg, amikor rájött, hogy egy kősor[86] kialakulása skóciai birtoka közelében, amely mellett már több százszor elhaladt, csak akkor megmagyarázható, ha elfogadjuk, hogy gleccser rakta le. Bár rájött az igazságra, de nem volt bátorsága ezt beismerni, és nem állt ki nyilvánosan a jégkorszakelmélet mellett. Agassiz közben nehéz időket élt át. Házassága romokban hevert, Schimper meggyanúsította, hogy ellopta ötletét, Charpentier szóba sem állt vele, és a legnagyobb élő geológus csak a lehető leglangyosabb és legbizonytalanabb módon támogatta.

1846-ban Agassiz Amerikába utazott előadókörútra, és ott végre értő közönségre talált. A Harvard Egyetem azonnal professzori állást ajánlott fel neki, sőt egy elsőrendű múzeumot is építtettek neki, az Összehasonlító Állattani Múzeumot. Nyilván az sem volt mindegy, hogy Új-Angliában telepedett le, ahol a hosszú teleket végigszenvedő lakosok nagyobb együttérzéssel fogadtak egy végeláthatatlanul hosszú hidegről szóló elméletet. Abból is sikerült előnyt kovácsolnia, hogy hat évvel az Újvilágba érkezése után hírek érkeztek az első grönlandi kutatóútról, amelyek szerint a félkontinens majdnem teljes egészét jégtakaró fedi. Elképzelései végre-valahára követőkre találtak. Elméletének egyetlen, de fontos hibája volt, hogy nem tudta megmondani, mi okozhatta a jégkorszakot. De hamarosan segítséget kapott, bár furcsa helyről.

Az 1860-as években a brit tudományos folyóiratokhoz és egyéb kiadványokhoz sok hidrosztatikai, elektromossággal és más témákkal kapcsolatos tanulmány érkezett a glasgow-i Anderson Egyetemről, egy James Croll nevű embertől. Az egyik cikket, amely a *Philosophical Magazine*-ben 1964-ben jelent meg, és arról szólt, hogy a Föld pályamódosulásai hogyan okozhattak jégkorszakokat, mindenki korszakalkotó írásnak tartotta. Ezért aztán eléggé meglepődtek, sőt talán zavarba is jöttek, amikor kiderült, hogy Croll, a szerző az egyetemen nem professzorként, hanem gondnokként dolgozik.

Croll 1821-ben született, szegénységben nevelkedett, és hivatalos iskolai oktatásban csak tizenhárom éves koráig részesült. Utána sokféle állása volt – ács, biztosítási ügynök, étteremvezető –, majd gondnokként helyezkedett el a glasgow-i Anderson (mai nevén: Strathclyde-i) Egyetemen. Valahogy rávette fivérét, hogy munkája nagy részét elvégezze helyette, és így sok csendes estét tölthetett az egyetem könyvtárában fizikát, mechanikát, csillagászatot, hidrosztatikát és a kor egyéb divatos elméleteit tanulmányozva. Lassanként maga is elkezdett cikkeket írni, főként a Föld mozgásáról és ennek az éghajlatra gyakorolt hatásáról.

Croll vetette fel elsőként, hogy a Föld pályájának periodikus változása, amelynek során az ellipszis alakú pálya megközelíti a kör alakot, majd ismét visszatér az ellipszis alakhoz, megmagyarázhatja az újra és újra bekövetkező jégkorszakokat. Korábban senkinek nem jutott eszébe csillagászati okokra visszavezetni a Föld időjárás-változásait. Szinte kizárólag Croll meggyőző elméletének köszönhető, hogy a britek kezdték elfogadni a gondolatot, hogy a Föld egyes részeit régen jég borította. Amikor

felismerték Croll kivételes képességeit, állást kapott a Skóciai Geológiai Szolgálatnál, ahol érdemei szerint megbecsülték; beválasztották a Londoni Királyi Társaságba és a New York-i Tudományos Akadémiába, a St. Andrews Egyetemtől pedig tiszteletbeli diplomát kapott.

Sajnos, amikorra Agassiz elméletével kezdtek végre megbarátkozni Európában is, ő már egyre nagyobb túlzásokba esett. Mindenhol gleccserek nyomát vélte felfedezni, még az Egyenlítő közelében is. Végül rögeszméjévé vált, hogy egykor az egész Földet jég fedte, és minden élet kihalt, de Isten később újrateremtette. Agassiz egyetlen bizonyítéka sem támasztotta alá az új elképzelést. Új hazájában ennek ellenére egyre nagyobb hírnévnek örvendett; már-már félistenként ünnepelték. 1873-ban bekövetkezett halála után megüresedett helyét a Harvard Egyetem három professzorral töltötte be.

Mindezek ellenére könnyen utolérte a nagy felfedezők sorsa: elméleteit gyorsan elfelejtették. Halála után kevesebb mint tíz évvel harvardi geológiai tanszékvezető utódja ezt írta: „Az úgynevezett eljegesedési korszak létezése, amely néhány éve oly népszerű volt a gleccserekkel foglalkozó geológusok körében, ma már habozás nélkül elutasítható.”

A gondok egy részét az okozta, hogy Croll számításai szerint a legutóbbi jégkorszak nyolcvanezer évvel azelőtt volt, pedig a geológiai bizonyítékok arra utaltak, hogy ez óta is történtek drámai változások bolygónk felszínén. Ha nincsen elfogadható magyarázat a jégkorszak bekövetkeztére, az egész elmélet nem ér semmit. A helyzetet egy Milutin Milankovics nevű tudós mentette meg, aki pedig korábban egyáltalán nem foglalkozott az égitestek mozgásával – gépészmérnöki diplomája volt –, de a XIX. század elején váratlanul érdeklődni kezdett az elmélet iránt. Milankovics rájött, hogy Croll elméletével nem az a gond, hogy nem igaz, hanem csak hogy túl egyszerű.

Amikor a Föld az űrben mozog, nemcsak pályája mérete és alakja változik, hanem a napsugarak beesési szöge is, és ez hatással van arra, mennyi ideig és milyen erősen süti a Nap a földfelszín adott részét. Különösen háromféle mozgásmódosulás van hatással rá, nevezetesen a Föld forgástengelyének iránya, a precesszió és a nap körüli keringés elliptikus pályájának elnyúltsága (excentricitás)[87]. Milankovics meg akarta tudni, vajon van-e összefüggés ezek között a bonyolult ciklusok és a jégkorszakok bekövetkezte között. A nehézséget az okozta, hogy a ciklusok hossza erősen különbözött – húsz-, negyven- és százezer évről van szó, plusz/mínusz néhány ezer év –, ami azt jelentette, hogy ha meg akarta tudni, hogy a hosszú időintervallumok során mikor esnek egybe, akkor hihetetlenül sok és bonyolult számítást kellett elvégeznie. Lényegében ki kellett számítani a Föld minden egyes szélességi fokához tartozó napsugárzás szögét és időtartamát mind a négy évszakra, minden egyes évre, és hozzá kellett számítani a három állandóan változó értéket is. Szerencsére Milankovics nem bánta a rabszolgamunkát. A következő húsz évet, még a szabadságait is azzal töltötte, hogy egy ceruzával és egy logarléccel táblázatokat állított össze az éghajlat ciklikus változásairól – ezt a munkát ma egy-két nap alatt el lehetne végezni számítógép segítségével. A számításokat csak szabad idejében végezhette, de 1914-ben hirtelen nagyon sok ideje lett, mivel kitört az első világháború, és a szerb hadsereg tartalékos tisztjeként letartóztatták. A következő négy évet laza házi őrizetben töltötte Budapesten, ami mindössze annyit jelentett, hogy hetente egyszer jelentkeznie kellett a rendőrségen. Ideje többi részében szabadon dolgozhatott a Magyar Tudományos Akadémia könyvtárában. Valószínűleg ő volt minden idők legboldogabb hadifoglya.

Szorgalmas munkájának végső gyümölcse egy *Mathematical Climatology and the Astronomical Theory of Climatic Changes* (Matematikai éghajlattan és az éghajlatváltozások csillagászati elmélete) című könyv lett, amely 1930-ban jelent meg. Milankovicsnak igaza volt: összefüggés van a jégkorszakok és a bolygó pályának ingadozásai között, bár mint a legtöbben, ő is úgy gondolta, hogy a ke-

mény telek váltak egyre hosszabbakká és hidegebbekké, és így keletkeztek a hosszú, hideg időszakok. Wladimir Köppen orosz-német meteorológus – Alfred Wegener tektonikus barátunk apósa – jött rá, hogy a folyamat ennél jóval bonyolultabb és ijesztőbb volt.

Köppen szerint a jégkorszakok oka nem a hideg tél, hanem a hűvös nyár. Ha nyáron nincsen elég meleg, hogy megolvadjon az adott területre télen lehullott hó, akkor a bejövő napsugarak nagyobb részét veri vissza a tükröző felület, ami súlyosbítja a hideget, ezért még több hó esik. A helyzet ezért állandósul. A hó jéggé tömörül, az adott terület lehűl, és még több jég halmozódik fel. Gwen Schultz gleccserszakértő szerint: „Nem a lehullott hó mennyisége miatt alakul ki a jégtakaró, hanem azért, mert a hó, akármilyen kevés is, megmarad." Ma úgy gondolják, hogy akár egyetlen különlegesen hideg nyár is jégkorszakot okozhat. Az el nem olvadt hó visszatükrözi a hőt, és még hidegebb lesz. „A folyamat öngerjesztő, leállíthatatlan, és ha a jég elég nagyra hízik, mozogni kezd." Kialakulnak a gleccserek és a jégkorszak.

Az 1950-es években a kormeghatározási módszerek még nem voltak tökéletesek, ezért nem lehetett párhuzamba állítani Milankovics gondosan kidolgozott ciklusait a jégkorszakok akkoriban feltételezett idejével, ezért Milankovics számításainak jelentősége hamar elhomályosult. 1958-ban halt meg, anélkül, hogy be tudta volna bizonyítani feltételezése helyességét. Addigra a korszak egyik leírása szerint „nehezen lehetett olyan geológust vagy meteorológust találni, aki a modellt ne csupán történelmi érdekességnek tekintette volna." Elmélete csak az 1970-es években nyert igazolást, amikor a tengerfenék üledékes kőzeteinek korát meg tudták határozni a kifinomult kálium-argon módszerrel.

A Milankovics-ciklusok önmagukban még nem magyarázzák a vissza-visszatérő jégkorszakokat. Sok más tényező is közrejátszott – nem elhanyagolható például a földrészek elhelyezkedése, különösen az, hogy a sarkokon ősmasszívumok voltak –, de hogy pontosan hogyan, még nem tudjuk. Valaki egyszer felvetette, hogy ha Észak-Amerikát, Eurázsiát és Grönlandot csak 5100 kilométerrel északabbra helyeznénk, soha meg nem szűnő jégkorszakot kapnánk. Ezek szerint szerencsénk van, hogy egyáltalán van néha jó idő. Még kevesebbet tudunk a jégkorszakok során bekövetkező, viszonylag enyhébb időszakokról, az interglaciális korszakokról. Kicsit meghökkentő, hogy a számunkra érdekes emberi történelemre – a földművelés kifejlődésére, a városok létrejöttére, a matematikára, az írásra, a tudományra és minden egyéb feltalálására – egy szokatlanul kellemes időjárási korszak során került sor. Korábban előfordult, hogy két jégkorszak között csak nyolcezer év telt el. A mienk már tízezer éve tart.

Valójában még mindig egy jégkorszakban élünk, csak éppen enyhébben, bár meg kell mondanunk, kevésbé enyhe, mint a legtöbben gondolják. A legutóbbi nagy eljegesedés csúcspontján, körülbelül húszezer évvel ezelőtt, a Föld felszínének mintegy 30%-át jég fedte. Tíz százalékával még mindig ez a helyzet. (És további 14% az örök fagy állapotában van.) A Föld édesvízkészletének háromnegyede még most is jég formájában van jelen, és jégsapka fedi mindkét sarkot – az is lehet, hogy bolygónk története során először. Nekünk ugyan természetesnek tűnhet, hogy a világ legnagyobb részén havazik télen, és állandó gleccserek vannak még olyan mérsékelt helyeken is, mint Új-Zéland, de valójában a bolygónak nem ez a természetes állapota.

A Föld egészen a legutóbbi időkig forró volt, és sehol nem volt állandó jégtakarója. A jelenlegi jégkorszak körülbelül negyvenmillió éve kezdődött, és ennek során megtörtént, hogy gyilkos hideg időjárás köszöntött be, és olyan is, hogy egészen elviselhető. Most éppen az utóbbi típusú időket éljük. A jégkorszakok általában kitörlik az előző jégkorszakok nyomait, tehát minél messzebbre megyünk vissza, annál vázlatosabb képünk van csak a Föld akkori állapotáról, de valószínű, hogy leg-

alább tizenhét kemény jégkorszak fordult elő az utóbbi két és fél millió év során – azért ezt az időszakot említem, mert ekkor jelent meg a *Homo erectus*, a mai ember őse Afrikában. A jelenlegi jégkorszak két leggyakrabban emlegetett oka a Himalája kiemelkedése és a panamai földhíd kialakulása lehetett, mert az első megzavarta a légáramlatokat, a második pedig az óceáni áramlatokat. India korábban sziget volt, de az utóbbi negyvenötmillió év során 2000 kilométernyire benyomódott az ázsiai ősmasszívumba, és ezzel nemcsak a Himaláját emelte ki, hanem mögötte a hatalmas Tibeti-fennsíkot is. Van egy feltevés, amely szerint egyrészt a keletkezett magaslatokon hidegebb volt a hőmérséklet, de ami ennél fontosabb, hogy a keletkezett hegyek északi irányba, Észak-Amerika felé terelték a szeleket, jobban kitéve ezáltal a kontinenst a hosszú ideig tartó hideg időjárásnak. Utána, mintegy ötmillió évvel ezelőtt, Panama kiemelkedett a tengerből, összekapcsolta Észak-és Dél-Amerikát, és ezzel megzavarta a Csendes- és az Atlanti-óceán között közlekedő meleg áramlatokat, ami megváltoztatta a világ több mint felének csapadékeloszlását. Az egyik következmény Afrika kiszáradása lett, és ez közrejátszhatott benne, hogy egyes emberszabású majmok lemásztak a fáról, és új életmódot kezdtek folytatni a kialakuló szavannákon.

Az óceánok és a szárazföldek mai elrendezkedése mellett mindenképpen úgy látszik, hogy a jég még hosszú ideig az ember jövőjének része lesz. John McPhee szerint még mintegy ötven, egyenként százezer évig tartó eljegesedésre számíthatunk, mielőtt végre olvadni kezd.

Ötvenmillió évvel ezelőtt a Földön nem voltak szabályos jégkorszakok, de amikor mégis akadt egy-egy, az nagyszabású volt. 2,2 milliárd éve hatalmas fagyok voltak, utána viszont vagy egymilliárd éven keresztül kellemes időjárást élvezhettek a Föld akkori lakói. Utána jött egy még keményebb jégkorszak, mint az első – ez olyan hosszú volt, hogy egyes tudósok ezt a kort kriogénnek, azaz fagykorszaknak nevezik. E korszak népszerűbb neve: *Hógolyó föld* (Snowball Earth).

A hógolyó azonban túl kedves elnevezés, nem utal rá, micsoda gyilkos körülményekről volt is szó. Az elmélet szerint, mivel a napsugárzás körülbelül 6%-kal csökkent, és csökkent az üvegházhatást okozó gázok termelődése (vagy visszatartása) is, a Föld tulajdonképpen elvesztette hővisszatartó képességét. Az egész világ egy nagy Antarktisz lett. A hőmérséklet körülbelül 45 fokkal csökkent. Elképzelhető, hogy a bolygó egész felszíne befagyott; az óceánok jege a sarkok közelében 800 méter vastag lehetett, és a trópusokon is több tíz méteres.

Van itt egy furcsa ellentmondás: a geológiai bizonyítékok arra utalnak, hogy mindent jég borított, még az Egyenlítőt is, a biológiai gondolkodás szerint viszont valahol kellett, hogy maradjon nyílt víz. Az utóbbira abból következtetnek, hogy a cianobaktériumok (kék algák) túlélték a jégkorszakot, pedig ők már képesek fotoszintézisre. Ehhez viszont napfényre van szükség, de mint azt mindenki tudja, aki már próbálta, a jégnek nem kell nagyon vastagnak lennie ahhoz, hogy átlátszatlanná váljon, csupán néhány méter is megteszi. Két lehetőség van az ellentmondás áthidalására. Az egyik: az óceán egy kis területe nem fagyott be (lehet, hogy egy forró pont melegíti), a másik: lehet, hogy a jég olyan különleges módon alakult ki, hogy mégis áttetsző maradt – néha ez is megtörténik.

Ha a Föld valóban mindenütt befagyott, akkor a következő nehéz kérdés: hogyan melegedett fel újra. Egy jéggel borított bolygó annyi hőt tükröz vissza, hogy elvileg a világ végéig fagyos kellene, hogy maradjon. Ezek szerint a segítség csak a bolygó olvadt, forró belsejéből jöhetett, méghozzá a vulkánok által, amelyek áthatoltak a jéggel fedett felszínen, és hőt és forró gázokat juttattak fel, ami megolvasztotta a havat és átalakította a légkört. Érdekes módon ennek a különösen hideg kornak a vé-

gén volt a kambriumi nagy kitörés, az élet történetének hajnala. Valójában lehet, hogy a dolgok nem mentek ilyen simán. A Föld újrafelmelegedése során akkora hurrikánok lehettek, amelyek felhőkarcoló magasságú hullámokat keltettek, és hihetetlen erős esőzések.

És mindeközben a csöves férgek, kagylók és más, a mélytengeri kürtőkhöz jól alkalmazkodó élőlények valószínűleg zavartalanul éldegéltek. A Föld más életformái viszont igen közel állhattak a teljes kihaláshoz. Mindez azonban nagyon régen történt, és nem sokat tudunk róla.

A kriogén korhoz képest az azóta bekövetkezett jégkorszakok elhanyagolhatónak tűnhetnek, de a Föld mai állapotához képest azok is borzasztóan kemények lehettek. Az Európa és Észak-Amerika nagy részét borító wisconsini jégtakaró helyenként három kilométernél is vastagabb volt, és évente százhúsz méterrel terjeszkedett dél felé. Képzeljük csak el ezt a látványt! A jégtakaró még a szélén is lehetett vagy 800 méter vastag. Képzeljük el, milyen lehet egy ilyen jégfal tövében állni. Mögötte pedig sok millió négyzetkilométeren keresztül semmi nem volt, csak jég, és csak egy-egy magasabb hegy törte meg az egyhangú látványt. Egész földrészek süllyedtek meg a jég hatalmas súlya alatt, és még ma, a gleccserek visszahúzódása után tizenkétezer évvel is csak lassan emelkednek vissza. A lassan haladó jégtakaró nemcsak sziklákat és hosszú jégturzásokat vitt magával, hanem egész földrészdarabokat is, például a mai Long Islandet, Cape Codot és Nantucketet. Nem csoda, hogy az Agassiz előtti geológusok nem fogták fel a jég hatalmas felszínformáló erejét.

Ha a jégtakaró ismét terjedni kezdene, nem tehetnénk semmit ellene. 1964-ben Észak-Amerika egyik legnagyobb jégmezőjén, az alaszkai Prince William-szorosban a földrész írott történelmének legnagyobb földrengése pusztított. Erőssége a Richter-skála szerint 9,2-es volt. A törésvonal mentén a talaj helyenként hat méterrel is megemelkedett. A rengés olyan heves volt, hogy még a texasi úszómedencékből is kiloccsant a víz. És vajon milyen hatása volt ennek a páratlan kitörésnek a Prince William-szoros gleccsereire? Semmilyen.

Hosszú ideig úgy tartották, hogy a jégkorszakok fokozatosan következtek és fejeződtek be, talán több százezer év alatt, de ma már tudjuk, hogy nem így volt. A grönlandi jégminták alapján több mint százezer évre visszamenőleg tudjuk, hogy mikor milyen éghajlat volt, és az eredmények nem megnyugtatók. Úgy látszik, hogy a Föld a legutóbbi időkben egyáltalán nem az a stabil, nyugodt hely volt, amilyennek a modern ember ismeri, hanem folyamatosan váltakozott rajta a meleg és a rettentő hideg.

Az utolsó nagy eljegesedés vége felé, mintegy tizenkétezer éve a Föld melegedni kezdett, méghozzá elég gyorsan, de azután megint nagy hidegek következtek be vagy ezer éven át. A tudomány ezt a korszakot késő driásznak nevezi. (A név egy magcsákó – *Dryas octopetala* – nevű növény nevéből származik; ez az egyik első növény, amelyik visszafoglalja a szárazföldet, amikor a jégtakaró elvonult. Volt egy korai driász kor is, de az nem jelentett ilyen drámai hőmérséklet-változást.) Az ezeréves hideg után az átlaghőmérséklet ismét emelkedni kezdett, húszezer év alatt négy fokkal, ami talán nem hangzik hatalmas ugrásnak, de körülbelül akkora változásnak felel meg, mintha húsz év alatt Skandinávia időjárása hirtelen mediterránra cserélődne. Egyes helyeken a változás ennél természetesen sokkal nagyobb volt. A grönlandi jégminták szerint az ottani hőmérséklet tíz év alatt nyolc fokkal nőtt, és emiatt teljesen megváltozott a csapadékmennyiség és a földművelésre alkalmas terület nagysága. Ez meglehetősen zavaró lehetett egy ilyen kevéssé lakott bolygón is; ma a következmények beláthatatlanok lennének.

Ennél még ijesztőbb, hogy el sem tudjuk képzelni, milyen természeti jelenségek változtathatták meg

a Föld hőmérsékletét. Elizabeth Kolbert így írt erről a *New Yorker*ben: „Egyetlen ismert vagy feltételezett külső erő sem lenne képes ilyen drasztikusan megváltoztatni a hőmérsékletet, és nem ilyen gyakran és összevissza, ahogyan az a jégmintákból kiderül. Léteznie kell valamiféle hatalmas, rettenetes visszacsatolási körnek, valószínűleg az óceánokkal és a természetes óceáni áramlatok megzavarásával kapcsolatban, de ezt még egyáltalán nem ismerjük."

Az egyik elmélet szerint a késő driász során sok olvadékvíz került a tengerekbe, ezzel csökkent az északi óceánok sótartalma (tehát a sűrűségük is), és a Golf-áramlat ezért fordult délnek, mint egy autóvezető, aki ki akarja kerülni az ütközést. Az északi vidékeket tehát már nem melegítette a Golf-áramlat, ezért hűvösek maradtak. De ez egyáltalán nem magyarázza meg, hogy ezer évvel később, amikor a Föld ismét felmelegedett, a Golf-áramlat miért ne változtathatott volna ismét irányt. Helyette következett a szokatlanul nyugodt időszak, amelyben most is élünk, a holocén.

Nincsen okunk feltételezni, hogy ez a stabil éghajlat még sokáig fog tartani. Van, aki úgy gondolja, hogy hamarosan nagy bajok jönnek. Természetes feltételezés lenne, hogy a globális felmelegedés ellensúlyozza a Föld törekvését az újabb jégkorszakra. Kolbert viszont figyelmeztetett arra, hogy „ha ingadozó, kiszámíthatatlan időjárásról van szó, nem okos dolog hatalmas, nem felügyelhető kísérleteket kezdeni." Még azt az elsőre talán nem túl hihető, de végső soron elképzelhető gondolatot is felvetette valaki, hogy talán az átlaghőmérséklet növekedése is új jégkorszakot okoz. Kisebb felmelegedés hatására ugyanis gyorsabb lesz a párolgás, és vastagabb lesz a felhőzet, tehát a sarkokhoz közelebbi vidékeken megnövekszik a hótakaró. Paradox módon a globális felmelegedés emiatt Észak-Amerika és Észak-Európa lehűléséhez vezethet.

Az éghajlatot annyi tényező befolyásolja – a szén-dioxid-szint változásai, a szárazföldek elmozdulása, a naptevékenység, a Milankovics-ciklusok méltóságteljes imbolygása –, hogy ugyanolyan nehéz megmagyarázni a múltbéli történéseket, mint előre jelezni az el jövendőket. A dolgok legnagyobb részét még nem értjük. Vegyük például az Antarktiszt. Miután földje megállapodott a Déli-sark felett, legalább húszmillió éven át nem jég borította azt, hanem növényzet. Mai ismereteink szerint viszont ez nem lehetséges.

Nem kevésbé érdekes a kihalt dinoszauruszok egyikének-másikának földrajzi elterjedése sem. Stephen Drury brit geológus megjegyzi, hogy az Északi-sarktól tíz fokon belül lévő erdőkben hatalmas állatok éltek, például *Tyrannosaurus rex*. Ezt írja: „Ez igencsak különös, hiszen itt az év három hónapjában állandó sötétség uralkodik." Sőt, ma már az is bizonyított, hogy ezeken a vidékeken rettenetes telek voltak. Az oxigénizotópok megmutatják, hogy az alaszkai Fairbanks környékén a késő kréta korban körülbelül ugyanolyan volt az éghajlat, mint ma. Akkor mit csinálhattak ott a *Tyrannosaurus*ok! Vagy az évszaktól függően messze vándoroltak, vagy az év nagy részét hóviharok között töltötték a sötétben. Ausztráliába, ami akkor közelebb volt a Déli-sarkhoz, mint ma, nem tért vissza a melegebb éghajlat. El sem tudjuk képzelni, hogyan maradhattak fenn a dinoszauruszok ilyen körülmények között.

Azt azért ne feledjük, hogy ha bármilyen okból ismét jégtakaró kezdene kialakulni a Földön, most sokkal több víz állna ehhez rendelkezésre, mint korábban. A Nagy-tavak, a Hudson-öböl, Kanada rengeteg tava – ezek még nem voltak meg az előző jégkorszak során, hiszen az hozta őket létre.

Másrészt viszont az is lehet, hogy nem újabb jégre kell számítanunk, hanem a meglévő elolvadására. Ha a Föld jelenlegi jégtakarója elolvadna, a tengerszint 60 méterrel emelkedne meg, vagyis egy húszemeletes épület magasságával, és a világ minden part menti városát elöntené a víz. A közeljövőben leginkább a nyugat-antarktiszi jégtakaró megsemmisülésére számíthatunk. Az elmúlt ötven évben

a sarkvidéket körülvevő víz hőmérséklete átlagosan 2,5 fokkal nőtt, és egyre több darab szakad le belőle. A szóban forgó terület geológiai adottságai is valószínűsítik, hogy a jégtakaró meg fog szűnni. Ez az egész világon gyorsan megemelné a tengerszintet, átlagosan 4,5-6 méterrel.

Nagyon különös, de egyszerűen nem tudjuk, mi a valószínűbb: egy egyre hidegebb, vagy egy egyre melegebb jövő. Egy dolog biztos csak: késélen táncolunk.

Egyébként a jégkorszakok jót tesznek a bolygónak. Összetörik a köveket, és ezzel új termőtalajt készítenek, édesvizű tavakat hoznak létre, amelyre nagy szüksége van a legtöbb élőlénynek. Az állatokat költözésre kényszerítik, ami biztosítja a dinamikus élővilágot. Tim Flannery írta: „Csak egy dolgot kell megkérdeznünk egy földrésztől, ha tudni akarjuk, hogy mi lesz lakóinak sorsa: »Kellemes jégkorszakod volt?«„Ne feledjük ezt, amikor továbblépünk, és megvizsgáljuk az emberszabású majmok egy faját, amelyeknek, úgy látszik, ez sikerült.

28.
A TITOKZATOS KÉTLÁBÚ

Nem sokkal 1887 karácsonya előtt egy nem túl hollandosan hangzó nevű holland orvos, Marie Eugène François Thomas Dubois[88] Szumátrára érkezett, hogy megkeresse az első ember maradványait.

A vállalkozás több szempontból is különleges volt. Először is, eddig még soha senki nem keresett ősembercsontokat. Minden eddigi lelet a véletlennek volt köszönhető, és Dubois előéletében semmi nem volt, ami arra predesztinálta volna, hogy ő legyen az első ilyen kutató. Anatómusnak tanult, őslénytannal korábban nem is foglalkozott. Továbbá arra sem volt semmi oka, hogy feltételezze, Kelet-Indiában ősembermaradványok lelhetők fel. A logikus az lett volna, ha úgy gondolkodik, hogy ha egyáltalán fennmaradt az ősember nyoma, az nagyobb és régebben lakott szárazföldön lesz található, nem egy viszonylag eldugott szigetcsoporton. Dubois tehát mindössze egy megérzés nyomán indult el Kelet-Indiába, és azért oda, mert ott kapott munkát. Annyit tudott még, hogy Szumátra bővelkedik barlangokban, és eddig a legtöbb fontos, emberféléktől származó őskövületet mindig barlangokban találták.[89] Az egészben az a különös, vagy inkább csodás, hogy megtalálta, amit keresett.

Amikor Dubois eltervezte, hogy megkeresi a hiányzó láncszemet, még csak kevés emberi őskövületet találtak: öt hiányos Neander-völgyi csontvázat, egy bizonytalan eredetű állkapocsdarabot és fél tucat jégkorszaki embert, akikre nemrég bukkantak vasúti munkások a franciaországi Les Eyzies melletti, Crô-Magnonon nevű hegyen lévő barlangban. A Neander-völgyi emberek közül a legépebben fennmaradt csontváz egy londoni raktárban porosodott. Ezt 1848-ban találták, amikor egy gibraltári kőbányában robbantásokat végeztek – csoda, hogy fennmaradt, de sajnos senki sem tudta, mi lehet. Röviden beszámoltak róla a Gibraltári Tudományos Társaságban, majd elküldték a Hunterian Múzeumba, ahol a következő több mint fél évszázadban semmit nem tettek vele, csak néha letörölték róla a port. Első tudományos leírását csak 1907-ben készítette el egy William Sollas nevű geológus, akinek „csak felszínes anatómiai ismeretei voltak”.

Ez az oka, hogy az első ősemberlelet felfedezését hagyományosan a Neander-völgyinek tulajdonítjuk – érdekes módon az elnevezés találó, mivel a görög *neander* szó véletlenül pont *új ember*t jelent. 1856-ban egy ottani kőbányában a munkások egy, a Düssel folyóra néző sziklában különös csontokat találtak. Ezeket a helyi tanítónak adták, mert tudták, hogy ő szívesen foglalkozik természetrajzzal. A tanító, Johann Karl Fuhlrott szerencsére felismerte, hogy itt egy különleges embertípusról van szó, bár utána még sokáig nem derült ki, hogy pontosan mi is ez a lelet, és mekkora a jelentősége.

Sokan nem fogadták el, hogy a Neander-völgyben egyáltalán ősembercsontot találtak. August Mayer, a Bonni Egyetem befolyásos professzora váltig állította, hogy az egy mongol kozák csontváza, aki 1814-ben sebesült meg, amikor Németországban harcolt, sebesülten bemászott a barlangba, és ott meghalt. Az angol T. H. Huxley ennek hallatára szárazon megjegyezte, hogy elég különös lenne, ha egy halálos sebesült felmászna egy húsz méter magas sziklára, levetkőzne, megszabadulna minden személyes tárgyától, lezárná a barlangot, és félméteres földréteg alá temetkezne. Egy másik antropológus azzal indokolta a Neander-völgyi ember erős homlokereszét, hogy bizonyára sokat ráncolta a homlokát, mert lassan gyógyult az alkarján ejtett seb. (Egyesek mindenképpen tagadni akarták az ősemberek létezésének lehetőségét, ezért inkább készek voltak elfogadni a legabszurdabb lehetőségeket is. Körül-

belül ugyanakkor, amikor Dubois Szumátrára indult, egy Périgueux-ban talált csontvázról magabiztosan állították, hogy az egy eszkimótól származik. Azt senkinek nem jutott eszébe megkérdezni, hogy egy őseszkimónak mi dolga lehetett Franciaország délnyugati részén. A lelet valójában egy korai crô-magnoni embertől származott.)

Dubois tehát ilyen előzmények után kezdett ősembercsontokat keresni. Nem maga ásott, hanem ötven elítélt, akiket a holland hatóságok bocsátottak a rendelkezésére. Egy évet dolgoztak Szumátrán, majd Jáván folytatták. Dubois – vagy inkább az általa vezetett kutatócsoport, hiszen ő maga csak ritkán látogatott el a helyszínre – itt találta meg 1891-ben egy ősember koponyájának egy darabját, amelyet ma trinili koponyatetőként ismerünk. Bár a koponya nem volt teljes, nyilvánvalóan nem embertől származott, viszont sokkal nagyobb agyat védhetett, mint amilyen az emberszabású majmoké. Dubois az élőlényt *Anthropithecus erectus*nak nevezte el (később módszertani okokból ezt *Pithecanthropus erectus*ra. változtatta), és kijelentette, hogy ez a hiányzó kapocs az ember és az emberszabású majom között. Népszerű neve jávai ősember lett, ma pedig a *Homo erectus* névvel illetjük.

A következő évben Dubois talált egy majdnem teljes combcsontot, amely nagyon hasonlított a mai emberéhez. Az igazat megvallva, sok antropológus kitart amellett, hogy ez a csont egy mai embertől származik, és semmi köze a jávaihoz. Ha mégis erectus csontja lenne, akkor is különbözik az összes azóta találttól. Dubois mindamellett ebből a csontból következtetett arra, hogy a Pithecanthropus felegyenesedve járt – ez a következtetése egyébként igaznak bizonyult. Rekonstruálta a teljes koponyát is, pedig csak egy darab koponyacsont és egy fog állt rendelkezésére; ez is helytállóan sikerült.

1895-ben Dubois visszatért Európába. Ünnepélyes fogadtatásra számított, de ebben csalódnia kellett. A legtöbb tudósnak nem tetszettek sem a következtetései, sem az az öntelt mód, ahogyan azokat előadta. A koponyatető szerintük emberszabású majomtól származik, valószínűleg egy gibbontól, nem pedig ősembertől. 1897-ben Dubois abban a reményben, hogy állítását bebizonyíthatja, megengedte, hogy a Strasbourgi Egyetem egy tiszteletre méltó anatómusa, Gustav Schwalbe mintát vegyen róla. Dubois ezek után igencsak megdöbbent, amikor Schwalbe saját tanulmányt írt a koponyacsontról, amely jóval kedvezőbb fogadtatásban részesült, mint bármi, amit eddig Dubois írt. Schwalbe ezután előadókörútra indult, és mindenütt úgy ünnepelték, mintha legalábbis ő találta volna a csontot. Dubois keserűségében visszavonult az Amszterdami Egyetemre, ahol professzori állást töltött be, és a következő két évtizedben senkit nem engedett értékes lelete közelébe. 1940-ben halt meg, egy boldogtalan élet végén.

Közben a világ másik oldalán, 1924 végén Raymond Dart, a johannesburgi Witwatersrand Egyetem Anatómiai Tanszékének ausztrál származású vezetője kapott egy kicsi, de nagyon jó állapotban lévő gyermekkoponyát a Kalahári-sivatag szélén lévő egyik kőbányából, a poros Taung városból. A lelet arcrésze és alsó állkapcsa teljesen ép volt, és megmaradt az agy lenyomata is. Dart rögtön látta, hogy a taungi koponya nem *Homo erectus*tól származik, mint Dubois jávai embere, hanem egy még korábbi, majomszerű lénytől. Korát mintegy kétmillió évesre becsülte, és *Australopithecus africanus*nak, azaz afrikai déli majomembernek nevezte el. Dart egy, a *Nature* folyóiratban megjelent cikkében a taungi leletet „bámulatosan emberinek” nevezte, és felvetette, hogy lehet, hogy új családot kellene kitalálni hozzá; ezt Homo simiadaenek (embermajomnak) nevezte.

A tudóstársak Dart felfedezését még Dubois-énál is rosszabbul fogadták. Elméletének minden egyes részlete, sőt, úgy látszik, Dart, úgy, ahogy volt, bosszantotta őket. Először is, a szemükben szánalmasan elbizakodott dolog volt, hogy az elemzést maga végezte el, ahelyett, hogy több tapasztalattal bíró szakértőket kért volna fel rá. Még a lelet választott nevét, az *Australopithecus*t is teljesen tudo-

mánytalannak találták, hiszen vegyesen tartalmazott görög és latin gyökereket. De a legnagyobb baj az volt, hogy következtetései ellenkeztek az elfogadott elmélettel, amely szerint az emberek és az emberszabású majmok fejlődése már legalább 15 millió éve kettévált Ázsiában. Ha az első emberek Afrikában éltek, akkor mindannyian négerek lennénk! Dart felfedezése olyan volt számukra, mintha ma valaki egyszer csak bejelentené, hogy ősembercsontokat talált mondjuk Missouri államban. Egyszerűen ellentétes volt az addig gondoltakkal.

Dart egyetlen említésre méltó támogatója Robert Broom volt, az okos és szeretetreméltón különc, skót származású orvos és őslénytudós. Broom egyik szokása volt, hogy jó időben meztelenül végezte a terepmunkát – és gyakran volt jó idő. Mindenki tudta, hogy gyanús anatómiai kísérleteket végez szegényebb és ezért engedékenyebb betegein. Amikor betegei meghaltak – gyakran meghaltak –, testüket néha a kertjében temette el, hogy később kiásva tanulmányozhassa őket.

Broom jártas volt az őslénytanban, és mivel Dél-Afrikában élt, elsőként vizsgálhatta meg a taungi koponyát. Rögtön látta, hogy Dartnak igaza van a lelet jelentőségével kapcsolatban, és nyomatékosan felszólalt Dart mellett, de rá sem hallgattak. A következő ötven év hivatalos tudományos álláspontja az maradt, hogy a taungi gyerekkoponya egy emberszabású majomtól származik. Sok könyv még csak meg sem említette. Dart öt évet töltött egy tanulmány megírásával, de nem talált rá kiadót. Végül feladta a reményt, hogy cikkét valaha is megjelentetheti (de az őskövület-keresést nem hagyta abba). Magát a koponyát, amely ma az emberiség egyik legnagyobb antropológiai kincsének számít, éveken át egy kollégája használta – papírnehezéknek.

Amikor Dart 1924-ben bejelentette felfedezését, csak négy ismert ősembertípus volt: a *Homo heidelbergensis*, a *Homo rhodesiensis*, a Neander-völgyiek és Dubois jávai embere. Ez a helyzet hamarosan nagyon megváltozott.

Először is, Kínában egy Davidson Black nevű tehetséges műkedvelő kutatni kezdett egy Sárkánycsont-domb nevű helyen, ahol régóta tudták, hogy sok ősi csontot lehet találni. Sajnos a kínaiak addig nem őrizték meg, amit találtak, hanem porrá őrölték, hogy orvosságot készítsenek belőle. Csak találgatni lehet, hogy hány felbecsülhetetlen értékű *Homo erectus*-csontból lett valamiféle kínai Kalmopyrin. A helyet már meglehetősen kifosztották, mire Black odaért, de talált egy megkövült őrlőfogat, és csupán ennek alapján bejelentette, hogy felfedezte a *Sinanthropus pekinensis*t, a pekingi embert.

Black kívánságára komolyabb ásatások kezdődtek, és még sok csontot találtak. Sajnos ezek mind elvesztek az 1941-es Pearl Harbor-i japán támadás utáni napon, amikor egy csapat amerikai haditengerész megpróbálta a csontokat (és saját magát) kicsempészni az országból, de a japánok feltartóztatták és elfogták őket. Amikor a japán katonák látták, hogy a zsákmányolt ládákban csak csontok vannak, az út szélén hagyták azokat. Ekkor látta őket utoljára valaki.

Közben Dubois vadászterületén, Jáva szigetén egy Ralph von Köningswald vezette expedíció még egy ősembercsoportot talált a Ngandong melletti Solo folyó partján; őket solói előembernek nevezték el. Köningswald lelete lehetett volna sokkal használhatóbb is, ha nem követ el egy elemi hibát: a helybélieknek 10 centet ajánlott fel minden egyes emberi csontdarabért. Később rémülten fedezte fel, hogy az őslakosok lelkesen törik apró darabokra a talált csontokat, hogy még több bevételre tegyenek szert.

A következő években, amikor még több csontot találtak és azonosítottak, rengeteg új név bukkant fel: *Homo aurignacensis, Australopithecus transvaalensis, Paranthropus crassidens, Zinjanthropus boisei* és még sok más. Ezek közül majdnem mindegyik nemcsak új fajhoz, de új nemzetséghez is tartozott. Az 1950-es évekre az elnevezett ősemberek száma már jóval meghaladta a százat. A zűrza-

vart tovább fokozta, hogy az egyes alakok nevét később gyakran megváltoztatták, amikor az ősemberkutatók a rendszert finomították, átdolgozták, és esetenként összekuszálták. A solói embereket hívták már *Homo soloensisnek, Homo primigenius asiaticusmk, Homo neanderthalensis soloensisnek, Homo sapiens soloensisnek, Homo erectus erectusnak*, majd végül maradtak a *Homo erectus*nál.

1960-ban F. Clark Howell, a Chicagói Egyetem munkatársa megpróbált rendet tenni. Ernst Mayr és mások előző évtizedbeli tanácsait követve felvetette, hogy a nemzetségek számát kettőre kellene csökkenteni – *Australopithecus*ra és *Homo*ra –, és rendszerezni kellene a fajokat is. A jávai és a pekingi ember is *Homo erectus* lett. Egy ideig rend lett az előemberek között, de ez nem tartott sokáig.

Körülbelül tíz év viszonylagos béke után az ősemberkutatás terén hirtelen ismét sok új felfedezés történt, amely azóta sem csökkent. Az 1960-as években fedezték fel a *Homo habilis*t, és sokak szerint ez a hiányzó láncszem az emberszabású majom és az ember között, míg mások azt állítják, hogy még csak nem is külön faj. Utána következett (többek között) a *Homo ergaster*, a *Homo louisleakeyi*, a *Homo rudolfensis*, a *Homo microcranus* és a *Homo antecessor*. Na meg egy csomó *Australopithecus: A. afarensis, A. praegens, A. ramidus, A. walkeri, A. anamensis* és még sokan mások. Ma összesen mintegy húszféle emberszabásút tart nyilván a szakirodalom. Sajnos azonban nehéz két olyan szakértőt találni, akik ugyanazt a húszat ismerik el.

Vannak, akik elfogadják a Howell által 1960-ban javasolt két nemzetséget, mások viszont az *Australopithecus*okat egy *Paranthropus* nevű nemzetséghez sorolják, ismét mások pedig felvesznek egy korábban élt, *Ardipithecus* nevű csoportot is. Egyesek a praegens fajt az *Australopithecus*okhoz számítják, mások pedig a *Homo antiquus*okhoz, de legtöbben nem is tartják külön fajnak. Ezekben a dolgokban nincsen központi döntőbíróság. Egy név akkor válik elfogadottá, ha mindenki elfogadja, ami viszont nagyon ritkán esik meg.

Paradox módon a gondok nagy része abból adódik, hogy kevés a rendelkezésre álló bizonyíték. Az idő hajnala óta sok milliárd ember (vagy legalábbis emberszerű lény) élt, és mindegyik hozzáadott egy kis genetikai változatosságot a nagy közös készlethez. Eme hatalmas embertömeg tagjai közül összesen körülbelül ötezer egyed – néha nagyon töredékes – maradványai maradtak fenn, és ebből próbálunk következtetéseket levonni a többiekről. – Az összes leletet be lehetne rakodni egy kisteherautóba, ha nem félnénk, hogy összekeverednek – jegyezte meg Ian Tattersall, az Amerikai Természetrajzi Múzeum szakállas, barátságos antropológiai felügyelője, amikor megkérdeztem tőle, a világ múzeumaiban összesen mennyi ősembermaradvány található.

Az, hogy ilyen kevés leletünk van, nem is lenne olyan nagy baj, ha legalább tudnánk, hogy időben és térben egyenletesen oszlanak el, de a helyzet természetesen nem ez. Összevissza bukkannak fel, gyakran a legszívfájdítóbb módon. A *Homo erectus* több mint egymillió éven át élt a Földön, és hatalmas területeket foglalt el Európa nyugati partjaitól Kína keleti partjaiig, de ha fel tudnánk támasztani minden *Homo erectus*-egyedet, akinek a létezéséről konkrét tudomásunk van, nem töltenének meg még egy buszt sem. *Homo habilis*ből még kevesebb van: csupán két csontvázrészlet és néhány különálló végtagcsont. Egy olyan rövid történelmű kultúra, amilyenben mi élünk, talán meg sem jelenne a korszakból származó őskövületek között.

– Európában – mondta példaképpen Tattersall –, pontosabban Grúziában találtak egy 1,7 millió éves emberszabású koponyát, de a következő lelet majdnem egymillió évvel későbbről származik, Spanyolországból, a földrész másik végéből, azután újabb háromszázezer évnyi szünet következik, majd jön a Németországban talált *Homo heidelbergensis*, és egyikük sem nagyon hasonlít a többire. – Mosolygott. – Az ilyen töredékes leletekből próbáljuk kitalálni egész fajok történetét. Bizony nem

könnyű. Nagyon keveset tudunk a régi fajok közötti kapcsolatokról és arról, hogy közülük melyek vezettek hozzánk, és melyekről derült ki, hogy evolúciós zsákutcák. Nyilván vannak olyanok is, amelyeket nem is kellene külön fajoknak tekintenünk.

Mivel ilyen kevés lelet áll rendelkezésre, természetes, hogy amikor valaki valami újat talál, az általában váratlan, és gyakran merőben különbözik az eddigiektől. Ha több tízezer csontvázunk lenne, amelyek kora azonos időközönként követné egymást, akkor jóval árnyaltabb képet kapnánk a fejlődés történetéről. Az új fajok nem a semmiből, hirtelen teremtődnek, ahogyan arra a leletek alapján esetleg következtetni lehetne, hanem a már meglévő fajokból. Minél közelebb megyünk az időben egy elágazáshoz, annál kisebb különbségeket lehet észrevenni, ezért szerfelett nehéz, sőt néha lehetetlen megkülönböztetni például a késői *Homo erectus*t a korai *Homo sapiens*től. Hasonló viták folynak a kisebb töredékek eredetéről, például, hogy egy csontdarab női *Australo-pithecus boisei*ből vagy férfi *Homo habilis*ból származik-e.

Mivel ilyen kevés a biztos tény, a tudósoknak gyakran a leletek közelében talált tárgyak alapján kell következtetéseiket levonniuk, és ezek gyakran meglehetősen bizonytalan támpontok. Mint Alan Walker és Pat Shipman kissé cinikusan megjegyzik, ha összefüggésbe hozzuk a talált eszközöket a közelükben talált fajokkal, azt kellene gondolnunk, hogy az első kéziszerszámokat antilopok készítették.

Talán a *Homo habilis* körüli bonyodalom a legjobb példa arra, milyen ellentmondásosak tudnak lenni a töredékes leletek. Voltaképpen arról van szó, hogy a habilis csontjaiból semmire nem lehet következtetni. Ha sorba rakjuk őket, úgy látszik, mintha a férfiak és nők különböző sebességben és irányban fejlődtek volna; a férfiak egyre kevésbé hasonlítottak majomra, és egyre inkább a mai emberre, a nők viszont mintha éppen fordítva haladtak volna. Van, aki úgy gondolja, a habilis nem is külön kategória. Tattersall és kollégája, Jeffrey Schwartz szerint egyszerűen egy lomtárról van szó, ahová a máshová nem sorolható leleteket „egyszerűen elraktározzák". Még aki külön fajnak tekinti a habilist, az sem tudja, hogy egy fajt jelent-e vagy egy oldalágat, amelyből végül semmi nem lett.

Végül, de semmiképpen nem utolsósorban, az egésznek a legfontosabb tényezője az emberi természet. A tudósok a leleteket akaratlanul is mindig úgy értelmezik, hogy az a lehető legjobban illeszkedjen saját rendszerükbe. Nem sok olyan régészről hallottunk, aki bejelentette, hogy talált egy csontlelőhelyet, de a leletnek nincsen nagy tudományos jelentősége. John Reader messze nem túloz a következő megállapítással *Missing Link* (A hiányzó láncszem) című könyvében: „Figyelemre méltó, hogy az új leletek első értelmezése milyen gyakran támasztja alá a felfedező előzetes feltevéseit."

Maradt tehát elég vitatott kérdés, és talán senki nem szeret annyira vitatkozni, mint az ősemberkutatók. „Az összes tudományág közül az őslénykutatók a legönérzetesebbek." Az idézet a nemrég megjelent *Java Man* (A jávai ember) című könyvből való, amely mű maga is hosszú, kevés jóindulatot tartalmazó részekben támadja mások, különösen az írók korábbi kollégája, Donald Johanson tévedéseit.

Tehát ha észben tartjuk, hogy nem sokat mondhatunk az ember őstörténetéről, amit valaki valahol ne cáfolna, körülbelül a következőket tudjuk arról, hogy kik vagyunk, és honnan jövünk.

Ha az ember mint élőlény történetét tekintjük, annak első 99,99999%-a megegyezik a csimpánzok származásával. Gyakorlatilag semmit nem tudunk a csimpánzok fejlődéstörténetéről, de amik ők valaha voltak, azok voltunk mi is. Utána, mintegy hétmillió éve valami nagy dolog történt. Új élőlények tűntek fel Afrika trópusi erdőiben, és elkezdték meghódítani a nyílt szavannát.

Ők voltak az *Australopithecus*ok, és a következő ötmillió éven át ők maradtak a világ legfőbb em-

berszabású faja. (Az austral szótő latin, és délit jelent, tehát ebben az összefüggésben nincsen köze Ausztráliához.) Az *Australopithecus*oknak több változata volt, egyesek karcsúak és törékenyek, mint Raymond Dart taungi gyermeke, mások izmosabbak, de mindannyian felegyenesedve jártak. A fajok némelyike több mint egymillió éven át létezett, mások csak néhány százezer évig, de ne feledjük, hogy még a legkevésbé sikeresek is sokszor annyi ideig maradtak fenn, mint mi.

A világ leghíresebb emberszabású leletét Donald Johanson expedíciója találta meg az etiópiai Hadarban 1974-ben. A 3,18 millió éves *Australopithecus* hivatalos neve A. L. (Afar Locality – Afar helyszín) 288-1 lett, de a csontváz a közbeszédben a Lucy nevet kapta a Beatles Lucy in the Sky with Diamonds című dala után. Johanson mindig is meg volt győződve lelete fontosságáról. „Lucy a legrégebbi ősünk, ő a hiányzó láncszem az emberszabású majom és az ember között."

Lucy apró termetű volt, alig magasabb egy méternél. Két lábon járt, de vitatják, hogy milyen jól vagy milyen rendszeresen. Az biztos, hogy jól tudott mászni. Sok mást viszont nem tudunk róla. Koponyája majdnem teljesen hiányzott, tehát nem sokat tudunk agya méretéről, bár a talált koponyadarabkák szerint inkább kicsi volt, mint nagy. A legtöbb forrás szerint Lucy csontvázának körülbelül 40%-át találták meg, bár van, amelyik szerint a fele van meg, sőt az Amerikai Természettudományi Múzeum egy kiadványa szerint inkább a kétharmada. Az *Ape Man* (*Emberszabású ember*) című BBC-televíziósorozat egyszer „teljes csontvázról" beszélt, pedig a bemutatott képek ezt azonnal megcáfolták.

Az emberi testben 206 csont van, de ezek közül sok többször is előfordul. Ha például megvan egy élőlény bal combcsontja, a méret megállapításához nincsen szükségünk a jobb oldalira. Az ilyen ismétlődéseket leszámítva csak 120 csontunk van, ezt fél csontváznak nevezik. Még ha ezt tekintjük, és ha a legkisebb szilánkot is teljes csontnak számítjuk, Lucy akkor is csak egy fél csontváz 28%-a (vagy egy teljes csontváz 20%-a).

Alan Walker *The Wisdom of the Bones* (A csontok bölcsessége) című könyvben részletesen elmeséli, hogy egyszer megkérdezte Johansont, hogyan jött ki a 40 százalék. A tudós fesztelenül azt válaszolta, hogy nem számította a kéz- és a lábcsontokat – összesen 106 csontot –, vagyis az összesnek több mint a felét. Méghozzá meglehetősen fontos felét, hiszen Lucy legfőbb sajátossága az volt, hogy hogyan használta a kezét és a lábát a változó világban. Mindenképpen kevesebbet tudunk Lucy-ról, mint gondolnánk. Még az sem teljesen biztos, hogy nő volt. Nemére ugyanis csak apró termetéből következtetnek.

Két évvel Lucy felfedezése után a tanzániai Laetoliban Mary Leakey kétféle lábnyomot talált, amelyeket talán ugyanabba a családba tartozó emberszabásúak hagytak. A nyomok egy vulkánkitörés után maradtak meg a talajt borító sár-hamu keverékben, amely később megszilárdult, és 23 méter hosszan megőrizte a lábuk nyomát.

A New York-i Amerikai Természetrajzi Múzeumban a jelenetet egy figyelemre méltó diorámán ábrázolják. Életnagyságban láthatjuk az afrikai síkságon egymás mellett haladó hímet és nőstényt. Szőrösek és csimpánzméretűek, de testtartásuk és járásuk az emberre emlékeztet. A jelenetben az a legmegragadóbb, hogy a hím bal karjával védőén átkarolja a nőstényt. A mozdulat gyengéd, szeretetteljes.

Az élőkép olyan hitelesnek látszik, hogy könnyen megfeledkezhetünk róla, hogy a lábnyomokon kívül minden más az alkotók képzeletének gyümölcse. A két főszereplő szinte minden tulajdonsága – a szőrösség mértéke, az arc részei (vajon emberi vagy csimpánzorruk van?) és kifejezése, a bőrük színe, a nő emlőjének mérete és alakja – szükségszerűen csak feltételezett. Még azt sem mondhatjuk, hogy biztosan egy pár voltak. Lehet, hogy a kisebbik inkább gyermek volt. Még abban sem lehetünk biztosak, hogy *Australopithecus*ok voltak, csak azért feltételezzük, mert nincsen jobb ötletünk.

Valaki azt mesélte nekem, hogy azért állították így ki őket, mert a dioráma építésekor a nőstény figura mindig felborult, de Ian Tattersall nevetve cáfolta ezt a babonát. – Természetesen nem tudjuk, hogy a hím átkarolta-e a nőstényt, de a lépések hosszából tudjuk, hogy szorosan egymás mellett haladtak – elég közel ahhoz, hogy összeérjenek. A területen nem volt sok fedezék, ezért valószínűleg sebezhetőnek érezték magukat. Ezért ábrázoltuk őket kicsit aggodalmas arckifejezéssel.

Megkérdeztem, hogy nem zavarja-e, hogy a jelenetben ennyi bizonyítatlan tény szerepel. – Soha nem egyszerű az efféle újraalkotás – válaszolta készségesen. – Nem is hinné, mennyit vitatkoztunk az apró részleteken, például azon, hogy a Neander-völgyieknek volt-e szemöldöke. És ugyanez volt a laetoli jelenettel kapcsolatban is. Egyszerűen nem ismerjük a kinézetük részleteit, de méretükre és testtartásukra tudunk következtetni, és vannak ésszerű feltevéseink a kinézetükről is. Ha ma kezdenék hozzá a megvalósításhoz, lehet, hogy egy kicsit majomszerűbbnek és kevésbé emberinek ábrázolnám őket. Ezek az élőlények ugyanis nem emberek voltak, hanem két lábon járó emberszabású majmok.

Egészen a legutóbbi időkig azt hitték, hogy Lucytől és a laetoli élőlényektől származunk, de ma ez már tűnik ilyen biztosnak. Bár egyes jellemzők (például a fogazat) arra utalnak, hogy lehet köztünk kapcsolat, az *Australopithecus*ok testének más részei nem ilyen egyértelműek.

– Tattersall és Schwartz *Extinct Humans* (Kihalt emberek) című könyvükben megjegyzik, hogy az ember combcsontjának felső része nagyon hasonlít az emberszabású majmokéhoz, az *Australo-pithecus*okéhoz viszont nem. Tehát ha Lucy lenne az emberszabású majmok utódja és az ember elődje, akkor ez azt jelentené, hogy az ember törzsfejlődése során először, vagy egymillió éven át, az *Australopithecus*okéhoz hasonló combcsontot fejlesztett ki, majd visszatért az emberszabású majmokéhoz jobban hasonlítóhoz. Ők ketten úgy gondolják, hogy Lucy nemcsak nem volt az ősünk, de még csak nem is járt sokat két lábon.

– Lucy és fajtársai nem úgy változtatták a helyüket, mint az emberek – szögezte le Tattersall. – Ezek az emberszabásúak csak akkor jártak két lábon, amikor az egyik fás élőhelyről a másikra mentek át, és akkor is csak azért, mert a testfelépítésük erre „kényszerítette” őket.

Johanson viszont egészen más véleményen van, ő ezt írta: „Lucy csípője és medencéjének izomszerkezete éppannyira megnehezítette volna a fára mászást, mint a mai embereké”.

A dolgok tovább bonyolódtak, amikor 2001-ben és 2002-ben négy kivételes új egyedet találtak. Az egyiket a fosszíliák felleléséről híres Leakey család Meave nevű tagja találta a kenyai Turkana-tónál. A *Kenyanthropus platyops*nak (kenyai laposarcúnak) elnevezett lelet körülbelül Lucy idejéből származhat, és felmerül a lehetőség, hogy ő lehetett az ősünk, Lucy pedig csak egy sikertelen oldalág. 2001-ben találták még az 5,2 millió és 5,8 millió éves közötti *Ardipithecus ramidus kadabbá*t és az *Orrorin tugenensis*t, aki hatmillió éves, tehát az eddig talált legöregebb emberszabású volt, de csak rövid ideig őrizte e címet. 2002 nyarán a csádi Djurab-sivatagban (egy olyan helyen, ahol korábban soha nem találtak csontokat) egy francia expedíció egy majdnem hétmillió éves emberszabásút talált. A neve *Sahelanthropus tchadensis* lett. (Egyes kétkedők szerint nem volt emberszabású, csak egy ősi emberszabású majom, ezért inkább *Sahelpithecus*nak kellene nevezni.) Ezek a régen élt élőlények nem voltak nagyon fejlettek, de felegyenesedve jártak, és sokkal korábban tették ezt, mint azt még nemrég gondoltuk.

A két lábon járás megerőltető, kockázatos vállalkozás. A medencének teherviselővé kell válnia. A szükséges erő megmaradásához a nőstény szülőcsatornájának viszonylag szűknek kell maradnia. Ennek két fontos közvetlen következménye van és egy hosszabb távú. Először is, emiatt a szülő anyának nagy fájdalmakat kell elviselnie, és a szülés kockázatosabb mind az anya, mind az újszülött számára.

Ezenfelül ahhoz, hogy a baba feje átférjen a szűk nyíláson, akkor kell megszületnie, amikor az agya még nagyon kicsi, vagyis akkor, amikor a csecsemő még teljesen gyámoltalan. Ezért az utódgondozásnak sokáig kell tartania, ennek viszont feltétele, hogy a hím és a nőstény szoros kapcsolatban maradjanak.

Mindez éppen elég megerőltető a bolygó intellektuális ura számára is, de gondoljuk csak el, mekkora lehetett a kockázat egy kicsi, sebezhető *Australopithecus*nak, akinek az agya körülbelül narancs nagyságú volt.[90]

Miért jött le Lucy és családja a fáról, és miért merészkedtek ki az erdőből? Valószínűleg nem volt más választásuk. A lassan kialakuló panamai földhíd elzárta a Csendes-óceán felől az Atlanti-óceánba áramló víz útját, elterelte az Északi-sarkot melegítő áramlatokat, és az északi tájakon egy különösen hideg jégkorszak következett be. Afrikában ugyanez helyenként szárazabb és hűvösebb időjárást eredményezett, és az őserdő egy részét fokozatosan szavanna váltotta fel. John Gribbin ezt így összegzi: „Tulajdonképpen nem Lucy és társai hagyták el az erdőt, hanem az erdő hagyta ott őket."

Az előembereknek tehát a nyílt szavannákon kellett élniük, kitéve minden veszélynek. A két lábon álló élőlény jobban lát, viszont őt is jobban látják. Az emberi faj még ma is hihetetlenül kiszolgáltatott, ha a vadonban kell boldogulnia. Szinte minden nálunk nagyobb állat egyben erősebb és gyorsabb is, mint mi vagyunk, a fogaik pedig élesebbek. Ha a mai embert megtámadják, csak két szempontból van előnyben. Fejlettebb agyunkkal jobb stratégiákat tudunk kitalálni, és van kezünk, amellyel fájdalmat okozó tárgyakat tudunk hajítani és kezelni. Rajtunk kívül egyik élőlény sem tud kárt okozni távolról. Így engedhetjük meg magunknak, hogy testileg sebezhetők legyünk.

Mintha minden elem a helyén lett volna a fejlett agy gyors kialakulására, de mégsem ez történt. Lucy és *Australopithecus*-társai a következő hárommillió év során szinte semmit nem változtak. Agyuk nem nőtt, és semmi jele nincsen, hogy akár csak egyszerű szerszámokat is használtak volna. És ami még furcsább: tudjuk, hogy körülbelül egymillió éven át más emberfélék szomszédságában éltek, akik viszont használtak szerszámot, és ők mégsem alkalmazták ezt a hasznos módszert, amely pedig csak egy kőhajításnyira volt tőlük.

Valamikor 2,5-3 millió éve akár hat különböző emberféle is élhetett egyszerre Afrikában. Közülük csak az egyik maradt fenn, a *Homo*, amely valamikor kétmillió éve fejlődött ki. Senki nem tudja pontosan, hogy a *Homo* és az *Australopithecus* között milyen kapcsolat volt, de tudjuk, hogy vagy egymillió éven át mindketten jelen voltak, mielőtt egymillió éve az összes *Australopithecus* titokzatosan és talán hirtelen kihalt, akár karcsúak voltak, akár robusztusak. Senki nem tudja, miért tűntek el. Matt Ridley szerint még az is lehetséges, hogy „felfaltuk őket".

A *Homo*-vonalat hagyományosan a *Homo habilis*tól számítjuk, akiről szinte semmit nem tudunk. A sor másik végén mi, a *Homo sapiens* (gondolkodó ember) állunk. Kettőnk között volt még fél tucat *Homo*-faj (pontos sorrendjük még vitatott): *Homo ergaster*, *Homo neanderthalensis, Homo rudolfensis, Homo heidelbergensis, Homo erectus* és *Homo antecessor*.

A *Homo habilis* (ügyes ember) elnevezést Louis Leakey és munkatársai találták ki 1964-ben, mert ez volt az első szerszámot használó emberféle, ha szerszámai egyszerűek voltak is. Az igen fejletlen élőlény inkább hasonlított a csimpánzra, mint az emberre, de agya mintegy másfélszerese volt Lucyének, és a testtömegéhez képest is majdnem másfélszer akkora, tehát ő volt akkor a világ Einsteinje. Eddig még senki nem találta meg annak biztos okát, hogy az emberfélék agya miért kezdett gyorsan

növekedni mintegy kétmillió évvel ezelőtt. Hosszú időn át úgy gondolták, hogy a nagyobb agy és a két lábon járás között egyenes összefüggés van, hogy új stratégiákra volt szükségük, mert az erdőkből a szabadba kellett költözniük, és ezért okosabbakká kellett válniuk. Ezért nagy meglepetés volt, amikor egyre újabb két lábon járó tökfilkókat találtak, tehát úgy tűnik, a kettő között még sincs összefüggés.

Tattersall szerint „egyszerűen nem tudunk olyan kényszerítő okról, amely miatt az agynak nőnie kellett volna". A nagy agy meglehetősen igénybe veszi a szervezetet; bár a testtömegnek csak a 2%-át képviseli, energiájának 20%-át ez fogyasztja. Viszonylag válogatós is abban, hogy mivel tápláljuk. Ha egész életünkben egyetlen gramm zsírt nem fogyasztanánk, egy szót se szólna, hiszen erre nincsen szüksége. Inkább glükóz kell neki, méghozzá rengeteg, még akkor is, ha emiatt más szervek hátrányba kerülnek. Guy Brown: „A test állandó veszélyben van, mert a falánk agy mindent elfogyasztana, ha nem lenne elég táplálék, viszont a test nem hagyhatja, hogy az agy éhezzen, mert akkor az egész szervezet hamarosan elpusztulna." A nagy méretű agyhoz sok táplálék kell, tehát az ilyen élőlény még veszélyeztetettebb.

Tattersall úgy gondolja, lehet, hogy a nagy agy egy egyszerű evolúciós baleset miatt alakult ki. Stephen Jay Goulddal együtt azon a véleményen vannak, hogy ha visszatekernénk és újra lejátszanánk az élet történetéről készült szalagot – még ha csak egy kicsit mennénk is vissza, az emberfélék első megjelenéséig –, „egészen valószínűtlen", hogy a mai ember vagy valami hozzánk hasonló élőlény ismét megjelenne.

Így ír erről: „Nekünk, embereknek nehéz elfogadnunk, hogy nem valaminek a csúcspontja vagyunk. Az, hogy ma itt vagyunk, semmiképpen nem volt elkerülhetetlen. Emberi hiúságunk miatt hajlamosak vagyunk azt gondolni, hogy az evolúció folyamatának célja az ember volt. Még az antropológusok is így gondolkodtak egészen az 1970-es évekig."

Valóban, még a *The Stages of Evolution* (*Az evolúció szakaszai*) című népszerű kézikönyv 1991-es kiadásának szerzője, C. Loring Brace is makacsul ragaszkodik a lineáris elmélethez, és csak egy evolúciós zsákutcát ismer el, az izmos *Australopithecus*okat. Minden más előremutatott – minden emberféle vitte egy darabig a stafétabotot, majd átadta egy fiatalabb, frissebb versenyzőnek. Ma már úgy látjuk, hogy a korábbi fajok közül sokan csak oldalágak voltak, amikből végül nem fejlődött ki semmi.

Szerencsére az egyik ág fennmaradt, mégpedig egy eszközhasználó csoport, amely szinte a semmiből bukkant elő, és sokáig együtt élt a Földön a homályos, sok vitára okot adó *Homo habilis*szal. A *Homo erectus*ra gondolok, akiket Eugène Dubois fedezett fel Jáva szigetén 1891-ben. Az olvasott forrástól függően megállapíthatjuk, hogy mintegy 1,8 millió éve fejlődhetett ki, és akár húszezer évvel ezelőttig is fennmaradhatott.

A *Java Man (A jávai ember*) szerzői szerint a *Homo erectus* a határ: az előtte élt emberfélék inkább emberszabású majomra, az utánuk következők inkább emberre hasonlítottak. A *Homo erectus* volt az első vadász, ő használt először tüzet, ő készített először összetettebb szerszámokat, ő hagyta ránk az első táborhelyleleteket, ő volt az első, aki gondoskodott gyengébb fajtársairól. Az előtte élt előemberekhez képest a faj alakja és viselkedése is meglepően emberi: hosszú végtagjai voltak, karcsú és nagyon erős (a mai embernél sokkal erősebbek) volt, és elég esze és hajlandósága, hogy nagy területeken elterjedjen. A többi emberféle szemében a *Homo erectus* valószínűleg rémisztően nagy, erős, gyors és tehetséges volt. Agyuk jóval kifinomultabb volt a többi emberféléénél.

Az *erectus* volt a „*kor Velociraptor-ja*", írja Alan Walker, a Penn State Egyetem munkatársa, a világ egyik legnagyobb ősemberszakértője. Ha ma találkoznánk vele, első pillantásra azt hihetnénk, ember, de „nem tudnánk kapcsolatot teremteni vele. Zsákmánynak tekintene minket". Walker szerint a

teste olyan volt, mint egy felnőtt mai emberé, az agya viszont olyan, mint egy csecsemőé.

Bár az *erectus*t már régóta ismerjük, egy évszázadon keresztül csak egy-egy töredék bukkant fel itt-ott – még annyi sem, hogy remény lehetett volna egy teljes csontváz felépítéséhez. Így csak egy rendkívüli afrikai lelet megtalálásakor, az 1980-as években kezdték fontosságát, mint a mai ember egyik ősét, felismerni. A kenyai Turkana-tó (régi nevén Rudolf-tó) eldugott völgye ma már a világ egyik legjobb ősembermaradvány-lelőhelye, de sokáig senkinek nem jutott eszébe ott kutatni. Felfedezéséhez egy véletlen vezetett. Richard Leakey egyszer repülőgépen utazott, és a járat valamilyen okból nem a megszokott útvonalon haladt, hanem a völgy fölött, amelyet a kutató, másoktól eltérően, ígéretes helynek vélt. El is indult egy kutatócsoport, de először nem járt sikerrel. Később egyik délután Leakey legjobb őskövület-felfedezője, Kamoya Kimeu talált egy emberféle szemöldökcsontjából származó csontdarabkát egy dombon, a tótól távolabb. Nem volt valószínű, hogy mást is találnak majd, de tisztelték annyira Kimeu ráérzéseit, hogy tovább ástak. Nagy csodálkozásukra hamarosan találtak egy majdnem teljes *Homo erectus*-csontvázat. Egy kilenc-tizenkét éves fiútól származott, aki 1,54 millió éve halt meg. Tattersall szerint a csontváz „szerkezete teljesen olyan volt, mint a mai emberéé"; ilyet még soha nem találtak. A turkanai fiú „nagyon határozottan közülünk való volt".

Kimeu a Turkana-tónál talált egy 1,7 millió éves nőt is; neve KNM-ER 1808 lett. Ez volt az első jele annak, hogy a *Homo erectus* érdekesebb és bonyolultabb lehetett, mint korábban gondolták. A nő csontjai elformátlanodtak, és durva kinövések voltak rajta; ez egy A-hipervitaminózis nevű gyötrelmes állapot következménye, amely viszont csak akkor állhat elő, ha egy húsevő máját elfogyasztja valaki. Ebből először is le lehetett vonni a következtetést, hogy a *Homo erectus* húsevő volt. Még meglepőbb volt, hogy a kinövések számából az következik, hogy hetekig vagy akár hónapokig is elélt még a betegség megjelenése után. Valaki tehát gondozta őt. Ez az emberfélék fejlődéstörténete során az első ismert, gyöngédségre utaló jel.

Azt is felfedezték, hogy a *Homo erectus* koponyákon (legalábbis valószínűleg) megfigyelhető a Broca-terület, az első agylebenynek a beszéd képességéhez tartozó része. A csimpánzoknak például nincsen ilyenjük. Alan Walker azonban úgy gondolja, a gerinccsatorna nem volt elég nagy és összetett a beszédhez, és az *erectus* körülbelül úgy kommunikálhatott, mint a mai csimpánzok. Mások, különösen Richard Leakey, meg vannak győződve róla, hogy az *erectus*ok beszéltek.

Egy ideig a *Homo erectus* volt az egyetlen emberféle a Földön. Az előző fajoknál nem tapasztalt kalandvágya miatt lélegzetelállító sebességgel elterjedt a világon. Az ősmaradványokból az derül ki, hogy a faj egyes tagjai körülbelül akkor, vagy még korábban jutottak el Jáva szigetére, amikor elhagyták Afrikát. Ebből egyes bizakodó tudósok arra következtettek, hogy a mai ember esetleg nem is Afrikában, hanem Ázsiában fejlődött ki, ami meglehetősen figyelemreméltó, sőt csodával határos lenne, hiszen egyetlen lehetséges emberelődöt sem talált senki Afrikán kívül. Az ázsiai emberféléknek ezek szerint mintegy a semmiből kellett volna előbukkanniuk. Akárhogyan is, ha Ázsiából származnánk, az csak megfordítaná az elterjedés problémáját, hiszen még mindig nem lenne magyarázható, hogy a jávai ember hogyan jutott ilyen gyorsan Afrikába.

Számos hihető okot találtak ki arra, hogy a *Homo erectus*nak hogyan sikerült ilyen hamar felbukkannia Ázsiában, miután először megjelent Afrikában. Először is, a korai emberfélék korának meghatározása csak elég nagy hibahatárok között lehetséges. Ha az afrikai csontok eredete az alsó hibahatárnál volt, vagy a jávaiaké volt a felsőnél, vagy esetleg mindkét előbbi feltételezés igaz, akkor elég idő állt az afrikai *erectus* rendelkezésére, hogy eljusson Ázsiába. Az is lehetséges, hogy Afrikában vannak még régebbi *erectus*-csontok, csak még nem fedeztük fel őket. Ráadásul az is elképzelhető,

hogy a jávai lelet dátuma teljesen hibás.

Az biztos, hogy valamikor, több mint egymillió éve, néhány új, viszonylag modern, két lábon járó élőlény elhagyta Afrikát, és vakmerőn uralma alá vette az egész Földet. A dolog valószínűleg meglehetősen gyorsan történt, évente átlagosan mintegy 40 kilométerrel távolabb kerültek a kiinduló helytől, és közben áthatoltak hegységeken, folyókon, sivatagokon és más akadályokon, s közben alkalmazkodtak az éghajlat és az élelemforrások változásaihoz. Különösen rejtélyes, hogy hogyan haladhattak el a Vörös-tenger nyugati partja mellett; ez a terület ma is eléggé sivár, de akkoriban még szárazabb volt. Furcsa helyzet, hogy ugyanazok a körülmények, amelyek miatt el kellett hagyniuk Afrikát, egyben akadályozták is őket ebben. Mégis, valahogyan minden akadályon átjutottak és jól megéltek a mögöttük talált földeken.

Attól félek, hogy itt viszont vége van a közmegegyezésnek. Ami ezután következett az emberi fejlődés történetében, az egy hosszú és gyűlölködéstől sem mentes vita tárgya, amelyről még lesz szó a következő fejezetben.

De mielőtt folytatnánk, jusson eszünkbe, hogy az evolúció ötmillió évnyi hepehupája után, amelynek során a távoli, tanácstalan *Australopit-hecus*ból a mai ember vált, olyan élőlény jött létre, aki genetikailag még mindig 98,4%-ban megegyezik a mai csimpánzzal. Több különbség van a zebra és a ló vagy a delfin és a barna delfin között, mint az olvasó és ama szőrös élőlény között, amelyeket távoli őseink otthagytak, amikor elkezdték uralmuk alá venni a világot.

29.
A NYUGHATATLAN EMBERSZABÁSÚ

Körülbelül másfél millió éve az emberfélék világának egy elfelejtett lángelméje váratlan dolgot cselekedett. Egy kővel nagyon gondosan megformált egy másikat. Az eredmény egy egyszerű, könnycsepp alakú szakóca lett: a fejlett technológia első megjelenése.

Az új szerszám annyival jobb volt a meglévőknél, hogy hamarosan mások is követték a feltalálót, és ők is saját szakócát készítettek. Végül már olyan volt, mintha egész társadalmak mással sem foglalkoztak volna, csak szakócakészítéssel. Ian Tattersall: „Ezeket ezerszámra állították elő. Vannak helyek Afrikában, ahol egy lépést sem tehetünk anélkül, hogy szakócára ne lépnénk. Furcsa, mert előállításuk meglehetősen időigényes volt. Olyan, mintha ez lett volna a kedvenc időtöltésük."

Tattersall napos dolgozószobája egyik polcáról levett egy hatalmas, vagy fél méter hosszú, a legszélesebb részén húsz centiméteres öntvényt. Dárdahegy alakú tárgy volt, annál azonban sokkal nagyobb. Mivel üvegszálból készült, tömege csak néhány dekagrammot tett ki, de az eredeti tanzániai lelet, amelynek a mintájára készült, körülbelül 11 kilogrammot nyomott.

– Szerszámként tökéletesen használhatatlan tárgy. Két ember kellett ahhoz, hogy megfelelően felemeljék, de még akkor is igen fáradságos lett volna bármit is fejbe kólintani vele – mondta Tattersall.

– Akkor vajon mire használták?

Tattersall derűsen megvonta a vállát; szemmel láthatóan tetszett neki, hogy a dolog ilyen rejtélyes. – Fogalmam sincs – mondta. – Valószínűleg jelképes haszna volt, de hogy mi...

A szakócákat acheuli szerszámoknak nevezték el az észak-franciaországi Amiens közelében lévő Somme á Saint-Acheul lelőhelyről, ahol először találtak ilyet a XIX. században. Ezek különböznek a régebbi olduvai szerszámoktól, amelyeket a tanzániai Olduvai-szakadékvölgyben találtak. A régebbi könyvekben az olduvai szerszámokat tompa, lekerekített, kézbe fogható kövekként ábrázolják. Az ősemberkutatók ma már inkább úgy gondolják, hogy valójában azokat a kődarabokat használták szerszámként, amelyeket az olduvai kövekről pattintottak le; ezeket már vágásra is lehetett használni. És itt egy újabb rejtély. Amikor az ősemberek körülbelül százezer éve elkezdtek kiáramlani Afrikából, az acheuli szerszámok képviselték a fejlettebb technológiát. Ezek a régen élt *Homo sapiens*ek szerették is acheuli szerszámaikat. Nagy távolságokra vitték őket magukkal. Néha még nyers köveket is szállítottak, hogy később majd ezekből készítsenek szerszámokat. Egyszóval, szerették az új módszert. De bár sok acheuli szerszámot találtak egész Afrikában, Európában, Nyugat- és Közép-Ázsiában, szinte mutatóba sem találtak egyet sem a Közel-Keleten. És ez nagyon furcsa.

Az 1940-es években egy Hallum Movius nevű régész húzta meg a róla elnevezett határvonalat azok közé a területek közé, ahol használtak acheuli szerszámokat, és azok közé, ahol nem. A vonal délkelet felé halad Európán és a Közel-Keleten át, a mai Kalkuttáig és Bangladesig. A határ mögött, Délkelet-Ázsiából és Kínából csak a régebbi, egyszerűbb olduvai szerszámok kerültek elő. Tudjuk, hogy a *Homo sapiens* túljutott a határon, de akkor miért vitték el a fejlett, új módszert a Távol-Kelet határáig, és miért hagyták ott?

Beszélgettem erről Alan Thorne-nal, a canberrai Ausztrál Nemzeti Egyetem munkatársával.

– Sokáig zavart ez a kérdés – mondta. – A modern antropológia nagy része azon alapul, hogy az emberek két nagy hullámban vándoroltak el Afrikából. Először a *Homo erectus*, akikből a jávai em-

ber, a pekingi ember és társaik lettek, és később a fejlettebb emberek hulláma: a *Homo sapiens*, akik átvették az elsőként érkezettek helyét. Ezt csak akkor tudjuk elfogadni, ha elhisszük, hogy a *Homo sapiens* csak eddig jutott fejlett módszerei ellenére, és utána valamilyen okból feladta. Eléggé zavaró.

Amint kiderült, sok más érthetetlen dolog is van. Az egyik legtitokzatosabb lelet Thorne földrészéről, azon belül is egy Isten háta mögötti helyről származik. 1968-ban egy Jim Bowler nevű geológus egy Mungo nevű régóta kiszáradt tó medrében kutatott az ausztráliai Új-Dél-Wales nyugati felének egy sivár, magányos sarkában, amikor valami nagyon meglepőt pillantott meg. Egy lunetta nevű, félhold alakú homokpadból emberi csontok meredtek ki. Abban az időben úgy gondolták, hogy csak mintegy nyolcezer éve élnek emberek Ausztráliában, a Mungo viszont tizenkétezer éve száradt ki. Akkor mit keresett valaki egy ilyen barátságtalan helyen?

A választ a radiokarbon-kormeghatározás adta meg. A csontok gazdája ezek szerint akkor élt, amikor a Mungo-tó még sokkal kellemesebb élőhely volt: egy 20 kilométer hosszú, tiszta vizű, halban gazdag, kellemes ligetekkel és kazuárfákkal szegélyezett paradicsom, ugyanis, mindenki meglepetésére, kiderült, hogy a csontok huszonháromezer évesek. Később találtak még régebbi, hatvanezer éves csontokat is a közelben. A lelet nem egyszerűen váratlan volt, hanem gyakorlatilag lehetetlen. Amióta emberfélék éltek a Földön, Ausztrália mindig is sziget volt. Ha ide ember érkezett, csak a tengeren át juthatott el; egész népesség kialakulásához pedig sok embernek kellett megtennie az utat. Itt most egy legalább 100 kilométeres útról beszélünk, amit a nyílt tengeren kellett megtenni, és sehonnan nem tudhatták, lesz-e hol kikötniük. Amikor a mungói emberek végre megérkeztek, még meg kellett tenniük 3000 kilométert déli irányban a sziget belseje felé. A *Proceedings of the National Academy of Sciences* szerint „ehhez az embereknek jóval korábban kellett ideérkezniük, mint 60 000 éve."

Hogyan jutottak ilyen messzire és miért jöttek? Erre nincsen válasz. A legtöbb antropológiai szakkönyv szerint még azt sem tudjuk biztosan, vajon hatvanezer éve beszéltek-e az emberek, ezért azt sem tudhatjuk, képesek lehettek-e akkora közös erőfeszítésre, amekkorára az óceánjáró hajók megépítéséhez és egy egész földrésznyi sziget meghódításához szükségesnek tartunk.

– Rengeteg mindent nem tudunk a történelem előtti ember vándorlásairól – mondta Alan Thorne, amikor Canberrában találkoztunk. – Tudja, amikor a XIX. századi antropológusok először látogattak el Pápua Új-Guineába, ott édesburgonyát termesztő embereket találtak a sziget belsejében lévő felföldeken – a lehető legnehezebben megközelíthető területeken. Az édesburgonya vagy batáta őshazája Dél-Amerika. Akkor hogyan került Pápua Új-Guineába? Nem tudjuk. Halvány fogalmunk sincsen. Az az egy biztos, hogy az emberek vakmerő magabiztossággal vándorolnak, ez régebb óta tart, mint eredetileg gondoltuk, és majdnem biztos, hogy amikor ennek során egymással találkoztak, géneket és információkat cseréltek egymással.

A gondot, mint mindig, az eddig megtalált őskövületek összessége okozza.

– A világnak nagyon kicsi az a része, amely megfelel az emberi maradványok megőrzésére – mondta az éles szemű, fehér kecskeszakállú, elszánt, de barátságos modorú Thorne. – Ha nem lenne az a néhány kelet-afrikai termékeny terület, amilyen például Hadar és Olduvai, csak ijesztően kevés adattal dolgozhatnánk. És a többi helyről gyakran valóban ijesztően keveset tudunk. Egész Indiában összesen egy, körülbelül háromszázezer éves megkövült embermaradványt találtak. Irak és Vietnam között, tehát egy mintegy ötezer kilométeres szakaszon, összesen két lelet került elő, az indiai és egy üzbegisztáni Neander-völgyi.

– Ez bizony nem túl nagy kiindulási alap – vigyorgott. – Van tehát néhány emberi maradvány lelőhelyünk, mint az afrikai Great Rift Valley és az itteni ausztráliai Mungo-vidék, a kettő között pedig

szinte semmi. Nem meglepő, hogy a régészek nehezen kötik össze a pontokat.

Az emberek vándorlásának hagyományos elmélete – amelyet ma is a legtöbben vallanak – az, hogy az emberek két hullámban terjedtek el Eurázsiában. Az első hullámban *Homo erectus*ok hagyták el feltűnő gyorsasággal – majdnem olyan gyorsan, ahogyan a faj kifejlődött – Afrikát, majdnem kétmillió éve. Különféle területeket foglaltak el, és további típusok fejlődtek ki belőlük, Ázsiában a jávai és a pekingi ember, Európában pedig először a *Homo heidelbergensis*, utána a *Homo neanderthalensis*.

És akkor, valamivel több mint százezer éve az afrikai szavannákon megjelent egy karcsúbb, okosabb lény, a ma élő összes ember őse, és egy második hullám során elkezdett szétrajzani. Az elmélet szerint az új faj, a *Homo sapiens*, ahová csak eljutott, ott elfoglalta az elsőként érkezett, butább, kevésbé ügyes *erectus*ok helyét. Mindig is vitatták, hogy ez hogyan történt. Sehol nem találtak mészárlásra utaló nyomokat, ezért a legtöbb szakértő úgy gondolja, hogy az új emberféle egyszerűen csak életrevalóbb volt a réginél, de lehet, hogy más tényezők is közrejátszottak.

– Lehet, hogy megfertőztük őket mondjuk himlővel – vetette fel Tattersall. – Sehonnan nem lehet megállapítani. Csak egy dolog biztos: mi itt vagyunk, ők pedig nincsenek.

Az első mai emberekről meglepően keveset tudunk. Furcsa, hogy saját őseinket kevésbé ismerjük, mint szinte bármelyik más emberféle őseit. Valóban különös, hogy – mint Tattersall megjegyzi – „az ember törzsfejlődésének legutóbbi nagy eseménye – saját fajunk kifejlődése – talán a leghomályosabb az összes esemény közül". Abban sincs közmegegyezés, hogy melyik az első megkövült mai ember maradvány. A legtöbb könyv szerint mintegy százhúszezer éve jelenhettek meg; ebből a korból származnak a dél-afrikai Klasies folyó torkolatában talált leletek, amelyekről azonban nem mindenki ismeri el, hogy mai embertől származnak. Tattersall és Schwartz véleménye az, „hogy közülük egyesek vagy esetleg mindannyian valóban *Homo sapiens*ek voltak-e, még nem tisztázott."

Fajunk megkövült maradványainak első vitathatatlan felbukkanása a Földközi-tenger keleti partján, a mai Izrael területén történt. Körülbelül százezer éve érkeztek ide az első emberek, de a leletek, Trinkaus és Shipman szavaival élve, „ritkák, nehezen osztályozhatók és kevéssé ismertek". Az biztos, hogy ekkor már éltek Neander-völgyi emberek ezen a vidéken, akik úgynevezett mousteri szerszámokat használtak; ezek olyan célszerűek voltak, hogy a mai ember elődei is felhasználták őket. Észak-Afrikában egyetlen Neander-völgyi-leletet sem találtak, de szerszámaik gyakran kerülnek elő a legkülönbözőbb helyeken. Valakinek tehát oda kellett vinnie – csak a mai ember tehette. Azt is tudjuk, hogy a Neandervölgyi és a mai emberek több tízezer éven át egymás mellett éltek a Közel-Keleten.

– Nem tudjuk, hogy felváltva éltek-e ugyanazon a helyen, vagy valóban szomszédok voltak – mondta Tattersall. Az új emberek mindenesetre szívesen használták a régiek szerszámait, és ez erős ellenérv azzal szemben, hogy sokkal fejlettebbek lettek volna náluk. Nem kevésbé érdekes, hogy több mint egymillió éves acheuli szerszámokat is találtak a Közel-Keleten, Európában viszont csak háromszázezer éveseket. Megint csak felmerül a kérdés, hogy ha az embereknek megvolt a fejlett technológiája – miért nem vitték magukkal?

Hosszú ideig úgy gondolták, hogy a crô-magnoni emberek (így nevezték el az európai *Homo sapiens*t) maguk előtt kergették a Neandervölgyieket, amikor elterjedtek a földrészen, végül annak nyugati peremén nem volt más választásuk, mint kihalni, vagy az óceánba ugrani. Tulajdonképpen mai tudásunk szerint a crô-magnoniak körülbelül ugyanakkor érték el Európa nyugati határát, amikor bejöttek keletről – Európa akkoriban nagyjából üres volt – mondta Tattersall. – Lehet, hogy nem találkoztak egymással olyan sűrűn, ahogyan annak alapján gondoljuk, hogy mennyit jöttek-mentek. – A crô-magnoniak megérkezésével kapcsolatban különös tény, hogy a paleoklimatológiában Boutellier-időszak-

nak nevezett korban érkeztek, amikor Európában a viszonylag enyhébb éghajlatot ismét hosszú, kemény hideg váltotta fel. Akármi vonzotta is őket Európába, az biztosan nem a klíma volt.

Mindenesetre vannak olyan bizonyítékok, amelyek cáfolják azt az elméletet, hogy a Neander-völgyi emberek az újonnan érkezett crô-magnoniak miatt haltak ki. A Neander-völgyiek legfőbb tulajdonsága a szívósság volt. Több tízezer éven át olyan körülmények között éltek, amilyeneket ma csak egyes sarki kutatók és felfedezők tapasztalhatnak.

A leghidegebb jégkorszakok alatt gyakran voltak orkánerejű hóviharok. A hőmérséklet gyakran esett – 45 °C alá. Jegesmedvék tapodták a délangliai havas völgyeket. A Neander-völgyi emberek természetesen visszavonultak a tél hatalma elől, de még így is olyan időjárási viszonyok között élhettek, mint amilyenek manapság Szibériában vannak. Biztos, hogy sokat szenvedtek – egy Neander-völgyi ember szerencsésnek számíthatta magát, ha megérte a harmincadik születésnapját –, de maga a faj csodálatosan rugalmas volt, szinte elpusztíthatatlan. Legalább százezer éven keresztül maradtak fenn, de az is lehet, hogy kétszer ennyi ideig; a Gibraltár és Üzbegisztán közötti területet foglalták el.

Véget nem érő viták tárgya, hogy pontosan kik és milyenek voltak. A XX. század közepéig a Neander-völgyiekkel kapcsolatos hivatalos antropológiai nézet szerint ezek az emberek nem voltak túlságosan éles elméjűek, tartásuk görnyedt volt, járásuk csoszogó, alkatuk majomszerű – ahogyan a barlanglakó ősembert el szoktuk képzelni. Egy fájdalmas baleset kellett hozzá, hogy a tudósok felülvizsgálják ezt az elméletet. 1947-ben egy algériai francia régész, Camille Arambourg terepmunkát végzett a Szaharában, és kisrepülőgépe szárnya alá húzódott a perzselő déli napsütés elől. Ott ült, amikor a gép egyik kerekén hirtelen felrobbant a gumi. A repülőgép felbillent, és erős ütést mért a férfi felsőtestére. Később, amikor Párizsban megröntgenezték a nyakát, észrevette, hogy csigolyái éppen olyan helyzetet foglalnak el, mint a görnyedt Neandervölgyi embereké. Tehát vagy Arambourg fejletlenebb élettanilag, vagy a leletekből rosszul következtettek a Neander-völgyiek testtartására. A második lehetőség volt az igaz. A Neander-völgyiek csigolyái egyáltalán nem olyanok, mint a majmokéi. Megváltozott gondolkodásunk róluk, de néha azért még előjön a régi klisé.

A köztudatban továbbra is él a nézet, hogy a Neander-völgyi emberek nem voltak elég intelligensek ahhoz, hogy felvegyék a harcot a földrész karcsúbb, fürgébb észjárású új lakóival, a *Homo sapiens*ekkel. Az alábbiakban egy nemrég megjelent könyvből idézek: „A mai ember ezt az előnyt [a Neander-völgyiek tetemesen nagyobb testi erejét] azzal egyenlítette ki, hogy jobb öltözéket viselt, jobban értett a tűzhöz és jobb menedéket készített magának, a Neander-völgyinek pedig nagyobb testet kellett fenntartania, tehát több élelemre volt szüksége.” Más szóval, az a tényező, amely lehetővé tette, hogy százezer éven át fennmaradjanak, hirtelen akadállyá vált.

A legkevesebbet arról beszélnek, hogy a Neander-völgyi emberek agyának térfogata jelentősen meghaladta a mai emberét: egy számítás szerint az előbbieké 1,8 liter volt, az utóbbiaké 1,4 liter. Ez a különbség pedig nagyobb, mint amely a mai *Homo sapiens* és a kihalt *Homo erectus* teste között fennáll, pedig hajlamosak vagyunk az utóbbiakat szinte nem is embernek tekinteni. Felvetődött, hogy bár agyunk kisebb, mégis hatékonyabb. Azt hiszem, nem tévedek nagyot, amikor azt mondom, az ember törzsfejlődésének során sehol máshol nem szerepel ez az érv.

Ezek után az olvasó joggal kérdezheti, hogy ha a Neander-völgyi emberek ilyen keménykötésűek, jól alkalmazkodók és fejlett agyúak voltak, vajon miért nincsenek ma is velünk? Az egyik lehetséges (de sokat vitatott) válasz szerint lehet, hogy itt vannak. Alan Thorne és mások egy másik lehetséges magyarázattal, az úgynevezett multiregionális kontinuitás elméletével álltak elő, amely szerint az ember fejlődése folytonos volt, tehát ugyanúgy, ahogyan az *Australopithecus*ból *Homo habilis* és *Homo*

heidelbergensis, majd *Homo neanderthalensis* lett, a *Homo sapiens* is régebbi Homo-típusokból alakult ki. A *Homo erectus* az elmélet szerint nem különálló faj, csak egy átmeneti állapot. A mai kínaiak tehát az ősi kínai *Homo erectus*okból alakultak ki, a mai európaiak az európai *Homo erectus*okból, és így tovább.

– Ha eltekintünk attól, hogy számomra nem létezik *Homo erectus*. Ez a kifejezés tudományos értelemben már nem használható. Számomra a *Homo erectus* már csak a mai ember egy korábbi állapota. Meggyőződésem, hogy csak egyféle ember hagyta el Afrikát, a *Homo sapiens*.

A multiregionális kontinuitás elméletével vitatkozóknak az az első ellenérve, hogy ebben az esetben az óvilág (Afrika, Kína, Európa, Indonézia legtávolabbi szigetei) embereinek párhuzamosan kellett fejlődniük. Van, akinek az a kifogása a multiregionális kontinuitás ellen, hogy olyan rasszista nézeteket lehet rá alapozni, amelyektől az antropológia már régen megszabadult. Az 1960-as években a Pennsylvania Egyetem híres antropológusa, Carleton Coon felvetette, hogy a mai emberi rasszok eltérő eredetűek, vagyis egyesek jobb ősöktől származnak, mint mások. Ez aggasztón emlékeztetett azokra a régebbi hiedelmekre, amelyek szerint egyes mai rasszok, például az afrikai busmanok (helyesen: a Kalahári vagy Kung Szan törzs tagjai) és az ausztrál őslakók primitívebbek más embereknél.

Nem tudjuk, milyenek voltak Coon személyes érzései, de annyi biztos, hogy elmélete hallatán sokan gondolták, hogy egyes rasszok eleve fejlettebbek másoknál, és hogy vannak olyan embercsoportok, amelyeket külön fajhoz lehet sorolni. Az ilyen nézeteket ma már ösztönösen elutasítjuk, de nemrég még igen elterjedtek voltak egészen felvilágosult emberek között is. Az asztalomon nyitva áll a *The Epic of Man* (Az ember eposza) című könyv, amelyet a *Time-Life Publications* adott ki 1961-ben a *Life* magazin cikksorozata alapján. Ebben ilyen megjegyzéseket olvasok: „a rhodesiai ember... csak 25 000 éve fejlődött ki, és lehet, hogy ő az afrikai négerek őse. Agyának mérete megközelítette a *Homo sapiens*ét". Más szóval, az afrikai feketék nemrég alakultak ki egy olyan élőlényből, amely „megközelítette" a *Homo sapiens*t.

Thorne határozottan (és azt hiszem, szívből) elutasítja, hogy elmélete akármennyire is fajgyűlölő lenne, és úgy magyarázza, hogy az ember törzsfejlődése miért volt mindenhol hasonló, hogy sok kölcsönhatás állt fenn a különféle kultúrák, illetve földrajzi területek között.

– Semmi okunk nincs azt feltételezni, hogy az emberek mozgása egyirányú lett volna – mondja. – A népek állandóan továbbköltöztek, és amikor találkoztak, biztos, hogy genetikai anyagot is cseréltek egymással. Az újonnan érkezettek nem feltétlenül foglalták el a bennszülöttek helyét; esetenként csatlakoztak hozzájuk. Egy nép lettek.

A helyzetet ahhoz hasonlítja, amikor a felfedezők, például Cook vagy Magellán először találkoztak új embercsoportokkal. – Ilyenkor nem két különböző faj találkozott, hanem egy faj kétféle tagjai, akik között bizonyos testi különbségek álltak fenn.

Thorne szerint az eddig megtalált őskövületek arra mutatnak, hogy a változás folytonos volt.

Van egy híres, körülbelül háromszázezer éves, a görögországi Petralonából származó koponya, amely állandó vita tárgya a hagyományos elmélet hívei körében, mert egyes tulajdonságai szerint *Homo erectus* lenne, mások szerint viszont *Homo sapiens*. Éppen ez bizonyítja, hogy a faj lassan alakult át, és nem az történt, hogy egyes modernebb képviselői léptek a régiek helyére.

Könnyebb lenne a dolgunk, ha találtak volna a kereszteződésre utaló bizonyítékokat, de a jelenleg rendelkezésre álló őskövületek nem segítenek. 1999-ben portugál régészek megtalálták egy négy év körüli, 24 500 éve élt gyermek csontvázát. A lelet kétségkívül mai emberé, de vannak ősi, lehet, hogy Neander-völgyi jegyek rajta: a lábcsontok szokatlanul erősek, a fogak elrendezése határozottan „lapá-

toló” és (bár ebben nem mindenki egyezik meg) a koponya hátsó részén megtalálható a csak a Neander-völgyi emberekre jellemző, fossa suprainiaca nevű bemélyedés. Erik Trinkaus, a St. Louis-i Washington Egyetem munkatársa, a világ legjobb Neander-völgyi-szakértője szerint a gyermek félvér, tehát bizonyítja, hogy a mai és a Neander-völgyi ember közös utódot tudott létrehozni. Másokat viszont zavart, hogy a leleten a Neander-völgyi és a modern tulajdonságok nem keveredtek jobban össze. Egyikük így fogalmazott: „Ha öszvért látunk, az nem azt jelenti, hogy az eleje szamár, a hátulja pedig ló.”

Ian Tattersall ugyanakkor kijelentette, hogy a csontváz „egyszerűen egy alacsony és tagbaszakadt mai gyermeké”. Elfogadja, hogy lehetett egy kis „huncutkodás” a Neander-völgyi és a mai emberek között, de nem hiszi, hogy ennek eredménye szaporodóképes utód lehetett volna.[91] – Az egész élővilágban nem ismerek két olyan élőlényt, amelyek egy fajhoz tartoznak, és mégis ennyire különböznek – mondta.

Mivel nincsen elég őskövület-bizonyíték a vita eldöntésére, a kutatók egyre inkább a genetikától, azon belül is a mitokondriális DNS-től várják a választ. A mitokondriális DNS-t csak 1964-ben fedezték fel, de az 1980-as években a kaliforniai Berkeley Egyetemen néhány lángész észrevette, hogy két olyan tulajdonsággal is rendelkezik, amelyet egyféle molekuláris óraként lehet használni: egyrészt csak a női oldalon öröklődik, tehát nem keveredik minden egyes nemzedékben az apai DNS-sel, másrészt körülbelül hússzor olyan gyorsan mutálódik, mint a szokásos nukleáris DNS, ezért a genetikai folyamatok könnyebben észrevehetők és nyomon követhetők lesznek. A mutáció mértékének megfigyelésével egész embercsoportok genetikai történetére és kapcsolataira derült fény.

1987-ben a Berkeley kutatócsoportja a néhai Allan Wilson vezetésével 147 ember mitokondriális DNS-ét vizsgálta meg, és kijelentették, hogy a mai testfelépítésű emberek Afrikában fejlődtek ki az utóbbi 140 000 év során, és „minden mai embernek ez a népcsoport az őse”. Nagy csapás volt ez a multiregionális kontinuitás elmélet hívei számára. Ekkor viszont elkezdték kicsit jobban megvizsgálni az adatokat. Az egyik legrendkívülibb állítás – amely már a hihetőség határát súrolta – szerint a tanulmányban említett afrikaiak voltaképpen Afrikából származó amerikaiak, akiknek a génjei nyilvánvalóan keveredtek Amerika más lakóiéval az elmúlt néhány száz év során. Nemsokára már azt is megkérdőjelezték, hogy vajon a mutáció mértéke valóban a tanulmány szerinti volt-e.

1992-re a tanulmányt már a tudósok többsége elutasította. A genetika elemzési módszereit viszont folyamatosan finomítják; 1997-ben a Müncheni Egyetem kutatói megvizsgálták az eredeti Neander-völgyi ember karcsontjából nyert DNS-t, és megtalálták a perdöntő bizonyítékot. Kiderült, hogy a Neander-völgyi ősember DNS-e különbözik a ma a Földön élő bármely élőlény DNS-étől, tehát nincsen genetikai kapcsolat közte és a mai ember között. Ez volt a végső csapás a multiregionalistáknak.

Később, 2000 végén, a *Nature* folyóiratban és más kiadványokban megjelent egy svéd tanulmány ötvenhárom ember mitokondriális DNS-ének vizsgálatáról. Eszerint a mai ember Afrikából származik, az elmúlt százezer év során fejlődött ki, és egy legfeljebb tízezer tagú populáció leszármazottja. Nem sokkal később Eric Lander, a Whitehead Intézet és az MIT Genomkutató Központjának munkatársa bejelentette, hogy a mai európaiak, de lehet, hogy a távolabb élő emberek is „néhány száz afrikai utódai, akik csak 25 000 éve hagyták el szülőföldjüket”.

A könyvben máshol már említettem, hogy a mai emberek genetikailag rendkívül hasonlók; egy szerző ezt így fogalmazta meg: „Nagyobb a genetikai változatosság egy ötvenöt tagú csimpánzcsapatban,

mint a Föld összes embere között." Ezt megmagyarázná az új elmélet. Mivel fajunk nemrég fejlődött ki egy kis alappopulációból, még nem volt elég idő vagy elég egyed nagyobb genetikai változatosság kialakulásához. Ez viszont teljesen ellentmond a multiregionalista elméletnek. A Penn State Egyetem egyik munkatársa erről így nyilatkozott a Washington Postnak: „Ezek után már senkit nem fog zavarni a multiregionális kontinuitás elmélete, amelyre eleve nem volt sok bizonyíték."

Mindez azonban nehezen egyeztethető össze az Új-Dél-Wales nyugati felében talált mungói leletekkel. 2001 elején Thorne és az Ausztrál Nemzeti Egyetemen dolgozó munkatársai bejelentették, hogy megvizsgálták a legrégebbi – mai tudásunk szerint hatvankétezer éves – mungói maradvány DNS-ét, és azt „genetikai szempontból különbözőnek" találták.

A mungói ember testfelépítése tehát, az új kutatások fényében, olyan, mint a mai emberé – mint az olvasóé vagy az enyém –, viszont máshonnan származik. Mitokondriális DNS-e nincsen meg a ma élő emberekben, pedig ott kellene lennie, ha a többi mai emberhez hasonlóan ő is a nemrég Afrikából elszármazott ősök utódja lenne.

– Már megint minden össze van kuszálódva – mondja Thorne, és nem is leplezi, hogy jól mulat.

Azóta más, még furcsább rendellenességekre is fény derült. Rosalind Harding, az oxfordi Biológiai Antropológiai Intézet populációgenetikusa a mai ember betaglobin-génjeinek tanulmányozása során két olyan variánst talált, amelyek gyakran előfordulnak az ázsiai embereknél és az ausztrál őslakosoknál, de Afrikában szinte soha. A variáns gének szerinte több mint százezer éve bukkantak fel, de nem Afrikában, hanem Kelet-Ázsiában – sokkal korábban, mint amikor a *Homo sapiens* elérhetett volna oda. Ezek csak úgy magyarázhatók, ha a mai ázsiaiak elődei között ősi emberszabásúak is voltak, gondolok itt például a jávai emberre és társaira. Érdekes, hogy ugyanez a variáns gén – nevezzük jávai génnek – megjelenik Oxfordshire mai lakóiban is.

Ezt végképp nem értettem. Megbeszéltem egy találkozót Rosalind Hardinggel az intézetben, amely az oxfordi Banbury út egy régi, téglából épült villájában kapott helyet. Az ausztrál kutatónő alacsony és vidám. Brisbane-ben született, és megvan az a ritka képessége, hogy bár munkája szórakoztatja, ugyanakkor igen lelkiismeretesen tudja azt végezni.

– Nem tudom – válaszolta azonnal mosolyogva, amikor megkérdeztem tőle, hogyan lehetséges, hogy az oxfordshireiekben kimutatták a fent említett betaglobinláncokat. – A genetika szerint inkább az afrikai eredet valószínűsíthető – mondta, már komolyabban. – Ugyanakkor viszont felbukkannak ezek a megmagyarázhatatlan embercsoportok, akikről a legtöbb genetikus nem szívesen beszél. Rengeteg adattal dolgozhatunk, de még nem tudjuk őket értelmezni. A kutatásnak még csak a kezdetén járunk.

Nem volt hajlandó nyilatkozni arról, hogy mit jelenthet az ázsiai eredetű gének jelenléte Oxfordshire-ben, csak annyit, hogy a helyzet nyilvánvalóan nagyon bonyolult. – A kutatás jelenlegi szintjén csak annyit mondhatunk, hogy a dolog nagyon zavaros, és nem tudjuk, miért.

Körülbelül ebben az időben, 2002 elején jelent meg egy másik oxfordi kutató, Bryan Sykes könyve, az *Éva hét leánya* (*The Seven Daughters of Eve*), amelyben a mitokondriális DNS-sel kapcsolatos eredmények alapján a szerző azt állítja, hogy szinte minden ma élő európai összesen hét asszonytól származik – ők lennének Éva leányai –, akik tíztől negyvenötezer évvel ezelőtt éltek a paleolitikumban. Sykes még el is nevezte a hét nőt – volt köztük Ursula, Xénia és Jasmine is –, és részletes életrajzokat is kitalált nekik. („Ursula volt anyja második gyermeke. Az elsőt egy leopárd ragadta el kétéves korában...")

Amikor Hardingot erről a könyvről kérdeztem, szélesen, de tartózkodón mosolygott, mintha nem tudná biztosan, mit válaszoljon. – Nos, azt hiszem, mindenképpen dicséretes, hogy ismeretterjesztő

könyvet ír egy ilyen bonyolult témáról – mondta, és gondolkodott egy kicsit. – És persze fennáll egy csekély lehetőség, hogy igaza van. – Nevetett, majd határozottabban folytatta: – Egyetlen gén adataiból nem lehet határozott következtetéseket levonni. Ha visszafelé követjük a mitokondriális DNS-t, elvisz egy darabig, mondjuk Ursuláig vagy Taráig. De ha egy másik DNS-darabbal próbálkozunk, vagy bármilyen más génnel, és ezt követjük visszafelé, biztos, hogy teljesen máshová jutunk.

Úgy tudom elképzelni, hogy a gének követése olyan, mintha véletlenszerűen kiválasztanánk egy Londonból induló utat, és eljutnánk John O'Groatsig (Nagy-Britannia egyik legészakabbi településéig), és ebből arra következtetnénk, hogy minden londoni Észak-Skóciából származik. Lehet persze, hogy onnan jöttek, de ugyanennyi az esélye még sok száz más településnek. A hasonlatot Harding szerint úgy lehet értelmezni, hogy minden egyes gén egy országút, de az úthálózatot még csak most kezdjük feltérképezni. – Egyetlen génből még nem ismerhetjük meg a teljes múltunkat – mondta.

– Akkor tehát nem bízhatunk a genetikában?

– De általában igen. A baj azokkal a túl messzire menő következtetésekkel van, amelyeket egyesek levonnak belőlük.

Úgy gondolja, hogy az afrikai eredetnek kilencvenöt százalék esélye van, de azt is hozzáteszi: – Azt hiszem, mindkét oldal hátráltatja a tudomány haladását, amikor azt állítja, a dolog csakis egyféleképpen történhetett. Valószínűleg ki fog derülni, hogy a történet nem volt olyan egyszerű, ahogyan bármelyik tábor állítja. A bizonyítékok egyre inkább arra mutatnak, hogy a világ több területén is vándorlás és szétszóródás történt mindenféle irányban, amelyek génkeveredést okoztak. Nem lesz könnyű kinyomozni, hogy pontosan mi történt.

Ugyanebben az időben olyan vélemények is napvilágra kerültek, hogy nem biztos, hogy a nagyon régi DNS felélesztése teljesen megbízható. A *Nature* egyik tudós cikkírója megjegyezte, hogy egyszer egy munkatársa megkérdezte egy őslénykutatótól, hogy egy régi koponyán van-e valamiféle bevonat. A kutató megnyalta a koponya tetejét, és azt mondta, hogy van. A *Nature* cikke így folytatódik: „Ekkor sok mai DNS került a koponyára", amelynek a további genetikai tanulmányozása teljesen hiábavaló lenne. Erről is kérdeztem Hardingot. – Biztos, hogy már korábban is került rá idegen anyag – válaszolta. – Ha csak megfogunk egy csontot, már meg is fertőztük. Mindannyian idegen DNS-ben úszunk. Ha tiszta vizsgálati anyagra van szükségünk, steril körülmények között kell kiásnunk, és a helyszínen kell megvizsgálnunk. A világ legbonyolultabb eljárásaira van szükség, ha el akarjuk kerülni egy lelet megfertőzését.

– Akkor tehát az ilyen bejelentéseket mindig kételkedve kell fogadnunk? – kérdeztem.

– Nagyon is! – válaszolta komolyan.

Ha egyszerűen akarom megvilágítani, hogy miért tudunk ilyen keveset az ember eredetéről, akkor mesélek az olvasónak egy afrikai helyről. A kenyai kék Ngong-dombság mögött helyezkedik el, Nairobitól délnyugatra. Ha a kenyai fővárosból az Uganda felé vezető autópályán indulunk el, egyszer csak meglepő élményben lesz részünk: a talaj egyszer csak elfogy a kerekek alól, és olyan érzésünk támad, mintha sárkányrepülőről látnánk a határtalan, halványzöld afrikai síkságot.

Ez a Nagy Rift-völgy, amely egy mintegy 4 500 kilométernyi vonalon keresztülszeli Kelet-Afrikát. Az Afrikát és Ázsiát egymástól elválasztó tektonikai törésvonal mentén húzódik. Itt, a völgy alján, a fővárostól 65 kilométerre van Olorgesailie, amely egykor egy nagy és békés tó partján feküdt. 1919-ben, jóval a tó eltűnése után, egy J. W. Gregory nevű geológus kutatott itt érclelőhelyek után, amikor a nyílt terepen egyszer csak különös, sötét, nyilvánvalóan emberi kéz formálta köveket talált. Megtalálta az egyik acheuli „szerszámgyárat", amelyről Ian Tattersall mesélt nekem.

Soha nem gondoltam volna, de 2002 őszén lehetőségem nyílt ennek a rendkívüli helynek a meglátogatására. Egészen más okból tartózkodtam Kenyában – a CARE (szegényeket segítő nemzetközi jótékonysági szervezet) létesítményeit látogattam meg –, de mivel vendéglátóim tudták, hogy a könyvben, amelyen éppen dolgozom, szó lesz az ember eredetéről, szerveztek nekem egy látogatást Olorgesailiebe.

Miután Gregory felfedezte az itteni lelőhelyet, még vagy húsz éven át senki sem foglalkozott vele. Ekkor azonban megérkezett a híres Leakey házaspár (Louis és Mary), amely páratlan nagyságrendű ásatást kezdett. Kiderült, hogy a lelőhely körülbelül négyhektáros, ahol körülbelül egymillió éven keresztül (kétszázezer évvel ezelőttig) megszámlálhatatlan mennyiségű szerszám készült. Ma a szerszám-lelőhelyeket nagy bádogtetők védik az időjárás viszontagságaitól, és dróthálók az esetleg gyűjtögető kedvű látogatóktól, de a szerszámok még mindig ott vannak, ahová készítőik ejtették, és ahol Leakeyék megtalálták őket.

Jillani Ngalli, a Kenyai Nemzeti Múzeum buzgó ifjú munkatársa volt a vezetőnk. Elmondta, hogy a völgyben nincsen kvarc- vagy obszidián-kőzet, amelyből a szakócák készültek. – A köveket valahonnan ideszállították – mondta, és fejével két ködös hegy, Olorgesailie és Ol Esakut felé intett, amelyek ellenkező irányban voltak a lelőhelytől. A hegyek körülbelül tíz kilométerre lehettek; jó hosszú út, ha a követ kézben kell hordozni.

Természetesen csak találgathatunk, hogy az olorgesailie-i emberek miért tettek ekkora erőfeszítéseket. És miután a meglehetősen nehéz köveket messziről odavitték a tópartra – és ha lehet, ez még különösebb –, utána szervezetten dolgoztak. A Leakey házaspár ásatásaiból kiderül, hogy egyes területeken új szakócákat készítettek, másokon a régieket élezték. Olorgesailie olyan volt, mint egy gyár, méghozzá olyan gyár, ami egymillió éven át nem zárt be.

Kipróbálták, és kiderült, hogy a szakócák bonyolultak voltak; elkészítésük még egy gyakorlott munkásnak is több órát vett igénybe, de mégsem voltak nagyon alkalmasak a vágásra, aprításra vagy gyalulásra, pedig joggal feltételezhetjük, hogy ezeket a feladatokat végezték velük. Tehát egymillió éven át – sokkal hosszabb ideig, mint amióta fajunk egyáltalán létezett, és nagyon sokkal hosszabb ideig, mint ahogy képesek voltunk közös erőfeszítésekre – sok ősember jött ide, hogy hihetetlenül sok szerszámot készítsen, amelyet azonban nem igazán tudott használni.

És vajon kik lehettek ezek az emberek? Tulajdonképpen nem tudjuk. Feltételezzük, hogy *Homo erectus*ok voltak, mert nincs jobb ötletünk, viszont ez azt jelentené, hogy a legfejlettebb olorgesailie-i emberek értelmi képességei akkorák voltak, mint ma egy csecsemőé. De ezt a feltételezést egyetlen tárgyi bizonyíték sem támasztja alá. Bár az ásatások hatvan éve folynak, egyetlen emberi csontot sem találtak Olorgesailie-ben vagy a környékén. Lehet, hogy ezek az emberek sok időt töltöttek itt a kövek formázásával, de szinte biztos, hogy nem itt haltak meg.

– Rejtély – mondta Jillani Ngalli ragyogó arccal.

Az olorgesailie-i emberek körülbelül kétszázezer éve tűntek el, amikor a tó kiszáradt, és a Rift-völgy olyan forró, barátságtalan hely lett, amilyen ma is. De addigra napjaik amúgy is meg lettek volna számlálva. Ekkor érkezett ugyanis meg a világ első igazi uralkodó faja, a *Homo sapiens*, amely a világot örökre megváltoztatta.

30.
VISZLÁT

Az 1680-as évek végén, körülbelül akkor, amikor Edmond Halley és barátai, Christopher Wren és Robert Hooke egy londoni kávéházban éppen baráti fogadást kötöttek, amelynek a végeredménye Newton *Principiá*-ja lett, Henry Cavendish meghatározta a Föld tömegét, mások pedig további ötletes és dicséretre méltó tevékenységeket folytattak, amelyekről beszámoltam az előző mintegy négyszáz oldalon; nos, ez idő tájt az Indiai-óceánon éppen egy sokkal kevésbé kívánatos esemény zajlott, Madagaszkár keleti partjától 1 300 kilométerre, Mauritius szigetén.

Egy azóta elfeledett tengerész vagy a kutyája ekkor gyötörte halálra az utolsó dodót, a híres-nevezetes, repülni képtelen madarat, amely nem volt nagyon okos, vakon bízott mindenkiben, és még csak nem is futott gyorsan, ezért kiváló célpontul szolgált az éppen a szárazföldön ténfergő fiatal matrózoknak. Mivel a madarak már több millió éve éltek elszigetelt, békés otthonukban, egyáltalán nem voltak felkészülve az emberek kiszámíthatatlan és mélységesen felháborító viselkedésére.

Nem ismerjük a körülményeket, és azt sem, hogy pontosan mikor került sor az utolsó dodó halálára, ezért nem tudhatjuk, mi volt előbb: egy olyan világ, amelyben van *Principia*, vagy egy olyan, amelyben már nincs dodó, de nagyjából egyszerre következhettek be. Nem is nagyon találhatnánk két másik, egyszerre történt eseményt, amivel jobban jellemezhetnénk az ember isteni, ugyanakkor bűnös természetét: ez az a faj, amelyik képes a mennyek legmélyebb titkainak felderítésére, miközben teljesen céltalanul agyonveri egy másik faj utolsó példányait, amelyek neki soha semmi kárt nem okoztak, és még csak azt sem érti, hogy mi történik vele. A leírásokból tudjuk, hogy a dodók annyira gyanútlanok voltak, hogy ha valaki látni akarta a környék összes dodóját, csak meg kellett egyet fognia, és ha megvárta, hogy hápogni kezdjen, a többi madár hamarosan odasereglett, hogy lássák, mi van a társukkal.

És a szegény dodó megaláztatásai itt nem értek véget. 1755-ben, hét évtizeddel az utolsó dodó halála után az oxfordi Ashmolean Múzeum igazgatója úgy döntött, hogy az intézményben kiállított kitömött dodó kellemetlenül penészedik, ezért elégettette. Különös eljárás volt ez, hiszen az volt a világ utolsó dodója. Egy arra járó alkalmazott megdöbbenve észlelte a madár máglyahalálát, és megpróbálta megmenteni, de csak a feje és egy végtag egy darabja maradt meg.

Ezért és más, józan ésszel nehezen felfogható körülmények miatt nem is igazán tudjuk, milyenek lehettek a dodók. Sokkal kevesebbet tudunk róluk, mint gondolnák. H. E. Strickland XIX. századi természettudós szomorú szavaival: néhány vázlatos leírás „műveletlen utazóktól, három-négy olajfestmény és néhány szórványos csontmaradvány”. Strickland csendes vágyódással említette, hogy több tárgyi bizonyítékunk maradt fenn az ősi tengeri szörnyekről és az esetlen Sauropodákról, mint egy nemrég élt madárról, amely akár tovább is élhetett volna, ha nem találkozik az emberrel.

A következőket tudjuk a dodóról: Mauritiuson élt, kövér volt, de húsa nem volt ízletes, a galambok családjának eddig ismert legnagyobb tagja, de hogy pontosan mekkora, azt nem tudjuk, mert súlyát soha senki nem jegyezte fel. Ha Strickland „szórványos csontmaradványaiból” és az Ashmolean Múzeumból származó szerény darabokból indulunk ki, kiderül, hogy körülbelül nyolcvan centiméter magas és a csőre hegyétől a fenekéig ugyanilyen hosszú lehetett. Mivel nem tudott repülni, fészkét a talajra építette, ezért tojásai és kicsinyei gyakran estek a szigeten kívülről behozott disznók, kutyák és majmok áldozatául. 1683-ra valószínűleg, 1693-ra biztosan kihalt. Ezenkívül szinte semmit nem tu-

dunk róla, kivéve, hogy sajnos soha nem fogjuk már látni. Nem tudjuk, hogyan szaporodott, mit evett, mekkora területet járt be, milyen hangot adott ki, amikor békén hagyták, és milyet, amikor megijedt. Nincsen egyetlen dodótojásunk sem.

Élő dodót ember összesen hetven évig láthatott. Lélegzetelállítóan rövid időtartam, bár meg kell mondanunk, hogy addigra az embernek már több ezer éves gyakorlata volt a fajok visszafordíthatatlan kipusztításában. Senki nem tudja, hogy az ember pontosan mekkora rombolásra képes, de biztos, hogy az utóbbi ötvenezer év folyamán ahová eljutottunk, onnan állatok tűntek el, gyakran hatalmas populációk is.

Amerikában harminc nagy testű – egyesek nagyon nagyok voltak – állatnemzetség tűnt el gyakorlatilag azonnal, miután a mai ember megérkezett a földrészre tíz-húszezer évvel ezelőtt. Észak- és Dél-Amerika elvesztette nagy állatainak háromnegyedét, amikor az ember vadászni kezdett kovahegyű dárdájával és jó szervezőkészségével. Európában és Ázsiában, ahol az állatoknak több idejük volt alkalmazkodni az emberhez, a nagy testű állatoknak csak a harmada vagy fele pusztult ki. Ausztráliában ezzel éppen ellentétes volt a helyzet, így ott a nagyobb állatok 95%-a kipusztult.

Mivel a vadászó ősemberhordák viszonylag kicsik voltak, állatból viszont hozzájuk képest rengeteg – akár tízmillió mamuttetem is nyugodhat jégbe fagyva csak az észak-szibériai tundrán –, egyes kutatók úgy gondolják, hogy más tényezők is közrejátszhattak kipusztulásukban, esetleg az éghajlatváltozás vagy egy pandémia. Ross MacPhee, az Amerikai Természettudományi Múzeum munkatársa szerint „nincsen nagy haszna annak, ha valaki a kelleténél gyakrabban vadászik veszélyes állatokra – az ember nem ehet meg akárhány rántott mamutszeletet." Mások úgy gondolják, szinte nevetségesen könnyű lehetett a zsákmány elfogása és megölése. Tim Flannery szerint „Ausztráliában és Amerikában az állatoknak valószínűleg eszükbe se jutott elfutni a vadászok elől."

A kiveszett fajok némelyike igencsak látványos volt, és biztosan szükség lenne egy kis elővigyázatosságra, ha még ma is köztünk lennének. Képzeljünk el például egy akkora lajhárt, amelyik be tudna nézni egy emeleti ablakon, kis Fiat méretű teknősöket vagy hatméteres gyíkokat, amint a nyugat-ausztráliai országutak mentén sütkéreznek. De ilyenek sajnos már nincsenek, és ezzel bolygónk sokkal kevésbé izgalmas hely lett. Ma az egész világon mindössze négy igazán súlyos szárazföldi állat él: az elefánt, az orrszarvú, a víziló és a zsiráf. Több tízmillió évet kellene visszamennünk az időben, hogy ilyen kis léptékű és szelíd életet találjunk a Földön.

Felvetődik a kérdés, hogy a kőkorszakban és az azóta történt fajkihalásokat vajon nem kell-e egyetlen nagy fajkihalásnak tekinteni, vagyis, hogy az ember megjelenése nem eleve rossz-e a többi élőlény szempontjából. Sajnos nagyon valószínű, hogy az. Davis Raup, a Chicagói Egyetem régésze szerint amióta élet van a Földön, átlagosan négyévenként hal ki egy-egy faj. Richard Leakey és Roger Lewin azt írják *The Sixth Extinction* (*A hatodik kihalás*) című könyvükben, hogy az ember okozta fajkihalás ennek a folyamatnak a sebességét 120 000-szeresére növelte.

Az 1990-es évek közepén Tim Flannery ausztrál természettudós, aki ma az adelaide-i Dél-Ausztráliai Múzeum igazgatója, elcsodálkozott rajta, hogy milyen keveset tudunk a fajkihalások nagy részéről, még a nemrég történtekről is. – Akárhová néztem, réseket, vagyis hiányzó darabokat láttam a leletek között, mint a dodó esetében, sőt, akadnak olyan fajok is, amelyekről semmiféle feljegyzés nincsen – mesélte nekem Melbourne-ben, 2002 elején.

Flannery rávette barátját és honfitársát, Peter Schouten festőt egy kissé rögeszmésnek tűnő küldetésre: elindultak felmérni, hogy a világból mely élőlények haltak ki, melyek maradtak és melyek azok, amelyekről még semmit nem tudunk. Négy éven keresztül régi bőrdarabokat, penészes mintapéldányo-

kat, régi rajzokat és leírásokat válogattak, amit csak találtak. Schouten életnagyságban lefestett minden állatot, amit csak el lehetett képzelni a leletek alapján, Flannery pedig szöveget írt hozzá. Az eredmény egy különleges könyv lett: *A Gap in Nature* (Rés a természetben), amelyben az utolsó háromszáz év fajkihalásainak lehető legteljesebb – és meg kell mondanunk, lehető legszomorúbb – felsorolását találjuk.

Egyes állatok esetében többféle forrás is rendelkezésre állt, de ezekkel gyakran senki nem törődött; néha évekig, néha soha többé. Steller tengeri tehene, a dugong egy rozmárszerű rokona volt az egyik utolsó hatalmas kihalt faj. Valóban lenyűgöző méretű volt: a felnőtt elérhette a 9 méteres hosszt és a 10 tonnás súlyt is, de csak azért tudunk róla, mert 1741-ben egy orosz expedíció hajótörést szenvedett az egyetlen helyen, ahol az állat még mindig élt, a Bering-tenger távoli, ködös Parancsnok-szigetein.

Szerencsére az expedícióval tartott a természetbúvár Georg Steller is, akit elbűvölt a soha nem látott állat. – A lehető legrészletesebb jegyzeteket készítette – mesélte Flannery. – Még az állat bajuszának átmérőjét is megmérte. Csak a hím nemi szerveiről nem ejtett egy szót sem, pedig a nőstényét szívesen részletezte. Még egy bőrdarabkát is eltett, így tudjuk, milyen volt a szerkezete. De sajnos a legtöbb állatról nem tudunk ennyit.

Steller egyetlen dolgot nem tett meg: nem mentette meg a fajt a kihalástól. Amikor felfedezte, már a kihalás szélén állt, annyit kiirtottak közülük, és huszonhét évvel később elpusztult az utolsó állat is. Sok más élőlény viszont nem is szerepel Flannery felsorolásában, annyira keveset lehet róla tudni. A Darling Downs-i ugróegér, a Chatham-szigetek hattyúja, az Ascension-sziget repülni nem tudó harisa, legalább ötféle nagy teknős és sokan mások örökre elvesztek számunkra – legfeljebb a nevük maradt fenn.

Flannery és Schouten felfedezte, hogy a fajkihalások nagy része nem volt kegyetlen vagy indokolatlan, csak fenségesen esztelen. 1894-ben, amikor világítótornyot építettek egy Új-Zéland Északi- és Déli-szigete közötti viharos tengerszorosban lévő, Stephens-sziget nevű magányos sziklán, a torony őre arra lett figyelmes, hogy macskája furcsa kismadarakat hord neki. Az őr kötelességtudón küldött néhány példányt a wellingtoni múzeumba. A múzeum egy munkatársa azonnal felismerte, hogy a madár a repülésképtelen ökörszemek egy fajához tartozik – a világ egyetlen repülni nem tudó, ágon ülő madárfajához. Azonnal elindult a szigetre, de mire odaért, a macska az összes madárral végzett. Mára összesen tizenkét kitömött múzeumi példány maradt a Stephens-szigeti repülésre képtelen ökörszemből.

De ez a tucat legalább fennmaradt. Mint kiderült, amikor már kihaltak egyes fajok, nagyon gyakran még akkor sem tudunk jobban vigyázni rájuk, mint amikor éltek. Vegyük például a gyönyörű karolinai hosszú farkú törpepapagáj esetét. Teste smaragdzöld, feje aranyszínű, valószínűleg a legszembeszökőbb és leggyönyörűbb észak-amerikai madár lehetett – a papagájok, mint bizonyára az olvasó is észrevette már, általában nem merészkednek ilyen messze északra –, egykor rengeteg élt belőle, talán csak vándorgalambból volt több. Sajnos a karolinai papagájt a farmerek kártevőnek tekintették, és nem volt nehéz dolguk, ha vadászni akartak rájuk, hiszen szoros csoportokban repültek, és megvolt az a furcsa szokásuk, hogy puskalövés hangjára felrepültek (eddig semmi különös), azután viszont szinte azonnal visszatértek, hogy megnézzék, mi történt a társukkal.

Charles Willson Peale a XIX. század elején írta ma már klasszikussá vált *American Ornithology* (Amerikai madártan) című könyvét. Ebben leír egy esetet, amikor többször is kilőtte összes töltényét arra a fára, amelyen ilyen madarak éltek: „Bár egyik lövést a másik után adtam le, és egyre több madár hullott élettelenül a földre, úgy látszott, mintha a túlélők egyre jobban kedvelnének, hiszen miután

néhányszor körülrepülték a fát, megint csak a közelemben telepedtek le, és kifejezett részvéttel nézték halott társaikat, ami teljesen lefegyverzett."

A XX. század második évtizedére már annyit kilőttek a madarak közül, hogy csak néhány állatkerti példány maradt meg. Az utolsó neve Inca volt; 1918-ban múlt ki a Cincinnati Állatkertben (nem egészen négy évvel azután, hogy az utolsó vándorgalamb ugyanitt elpusztult), és kitömték. És mit gondol az olvasó, hol látható Inca ma? Senki nem tudja. Elveszett valahol az állatkertben.

A fenti történetben az a legérthetetlenebb, hogy Peale imádta a madarakat, mégis gondolkodás nélkül tömegesen pusztította őket csupán azért, mert érdekesnek találta, ahogyan ennek hatására viselkednek. Meghökkentő, de igaz, hogy hosszú időn keresztül éppen azok irtották ki a legtöbb állatfajt, akik leginkább érdeklődtek az élővilág iránt.

A legjobb bizonyíték a fenti állításra Lionel Walter Rothschild, a második Rothschild báró személye. A nagy bankárcsalád örököse különös, világtól elvonuló ember volt. Egész életét (1868-tól 1937-ig) a Buckinghamshire megyei Tringben lévő házuk gyermekszobákat tartalmazó szárnyában töltötte, gyermekkori bútorai között – még csak felnőtt méretű ágyat sem szerzett be, pedig élete vége felé elérte a 135 kilogrammot.

Egyetlen szenvedélye a természetrajz volt; rendíthetetlen gyűjtő lett. Rengeteg tanult embert – néha egyszerre négyszázat is – küldött a világ minden szögletébe, hogy új példányokat – főleg repülő állatokat – gyűjtsenek neki; az sem volt baj, ha ennek érdekében hegyeket kellett mászniuk vagy őserdőkön kellett áthatolniuk. Az emberek a leleteket szépen becsomagolták, és elküldték a tringi Rothschild-birtokra, ahol a báró (ismét csak jelentős segéderőket alkalmazva) aprólékos feljegyzéseket és elemzéseket készített róluk. Az összegyűlt adathalmaz összesen mintegy ezerkétszáz könyvre, cikkre és tanulmányra volt elég. Rothschild természetrajzi „üzemében" több mint kétmillió példány fordult meg, amelyek közül körülbelül ötezernek van tudományos értéke.

Érdemes megjegyezni, hogy Rothschild gyűjtőszenvedélyének kielégítése sem az eredmény, sem a ráfordított anyagiak tekintetében nem volt a XIX. század legnagyobb ilyen erőfeszítése. A rekordot valószínűleg a kicsit korábban élt, de szintén nagyon gazdag angol Hugh Cuming tartotta, aki annyi leletet gyűjtött össze, hogy egy nagy óceánjárót is építtetett, amely egész évben járta a világot, és összegyűjtötte, amit csak találtak: madarakat, növényeket, mindenféle állatokat és főleg kagylókat. Ő hagyta páratlan kacsakagyló-gyűjteményét Darwinra, amely azután tanulmányainak alapja lett.

Bár Rothschild volt korának legnagyobb gyűjtője, ő okozta sajnos a legnagyobb kárt is, miután az 1890-es években Hawaii – a Föld talán legcsábítóbb, ugyanakkor legsebezhetőbb vidéke – kezdte érdekelni. Mivel Hawaii évmilliók óta különálló sziget volt, 8800 csak itt élő állat- és növényfaj fejlődött ki. Rothschildot különösen a sziget színes és különleges madarai bűvölték el, amelyekből gyakran egészen kis populációk éltek a sziget meghatározott helyein.

Tragédiájukat az okozta, hogy nemcsak különlegesek, kívánatosak és ritkák voltak, hanem ugyanakkor siralmasan könnyű prédát is jelentettek.

A gyapjasmadárfélék családjába tartozó, ártalmatlan nagy koa pintyőke (Rhodacanthis palmeri) szégyenlősen rejtőzik a koa akác lombjai között, de ha valaki a hangját utánozza, azonnal előjön, hogy üdvözölje a látogatót. A faj utolsó tagjai 1896-ban tűntek el; Rothschild egyik legjobb gyűjtője, Harry Palmer vadászta le őket öt évvel rokona, a kis koa pintyőke (Rhodacanthis flaviceps) kihalása után. Az utóbbi állat már akkor is olyan ritka volt, hogy összesen egy példányát látta valaha valaki, amelyiket lelőtték, hogy Rothschild gyűjteményét gazdagítsa. Rothschild legintenzívebb évtizede során legalább kilenc hawaii madárfaj tűnt el véglegesen.

Nem ő volt az egyetlen, aki gyakorlatilag bármi áron madarat akart gyűjteni. Voltak még nála kíméletlenebbek is. 1907-ben, amikor egy Alan Bryan nevű híres gyűjtő rájött, hogy lelőtte az utolsó három erdei gyapjasmadarat (ezt az erdei madárfajt csak a megelőző évtizedben fedezték fel), megjegyezte, hogy a hír „örömmel tölti el".

Ma már nehéz elképzelni, hogy milyen volt a kor uralkodó szemlélete: üldöztek minden állatot, ha az a legkisebb mértékben is zavarta az embert. 1890-ben New York állam több mint százszor fizetett pénzjutalmat egy bizonyos pumafaj (Puma concolor) kilövéséért, pedig tudták, hogy a sokat zaklatott állatok a kihalás szélén állnak. Még az 1940-es években is voltak olyan amerikai államok, amelyekben jutalomra számíthatott, aki bármilyen ragadozó állatot elejtett. Nyugat-Virginiában egyéves egyetemi ösztöndíjat kapott, aki a legtöbb kártevőt irtotta ki, és minden kártevő volt, amit nem farmon tenyésztettek, vagy nem tartottak házi kedvencként.

Talán semmi nem illusztrálja jobban az akkori furcsa szemléletet, mint a gyönyörű kis Bachman-poszáta (Vermivora bachmani) sorsa. Ez a madár az Egyesült Államok déli vidékein élt, és szokatlanul gyönyörű éneke volt, de száma egyre fogyott, míg az 1930-as években hosszú évekre eltűnt. 1939-ben egy szerencsés véletlen folytán két madárbarát mindössze két nap különbséggel felfedezett egy-egy példányt az ország két különböző pontján. Mindketten lelőtték a talált madarat.

Nem csak Amerikában szerették kiirtani a különféle fajokat. Ausztráliában majdnem addig jutalmat kapott, aki elejtett egy erszényes, más néven tazmán farkast, ezt a kutyaszerű, hátán tigriscsíkos állatot, amíg az utolsó példány is ki nem múlt 1936-ban a Hobart magánállatkertben. Ha ma ellátogatunk a Tazmániai Múzeum és Művészeti Galériába, és szeretnénk látni a faj utolsó tagját – egyben az utolsó nagy erszényes húsevőt –, akkor néhány fényképet mutatnak és 61 másodpercnyi régi filmfelvételt. Amikor az utolsó erszényes farkas kimúlt, tetemét elszállíttatták a szeméttel együtt.

Az egészet azért említem, mert szeretném alátámasztani, hogy ha valaki egy olyan élőlényt tervezne, amely képes vigyázni a földi életre magányos kozmoszunkban és amely figyelné, hogy hová tart, valamint feljegyezné a történetét, biztosan nem az embert választaná ki erre a feladatra.

És itt egy rendkívül sarkalatos ponthoz érkeztünk: mégis minket választott a sors vagy a gondviselés, nevezzük, ahogyan akarjuk. Ma itt mi vagyunk erre a legalkalmasabbak. És lehet, hogy más nem is lesz. Ijesztő gondolat, hogy egyszerre lehetünk az élő világegyetem legnagyobb eredménye és legrosszabb rémálma.

Mivel ennyire nem értünk ahhoz, hogyan kell vigyázni akár az élő, akár a halott dolgokra, nem tudhatjuk – egyáltalán nem –, hogy hány élőlény halt ki véglegesen, hány fog hamarosan kihalni, hány marad meg a világ végéig, és hogy ezekben a folyamatokban mennyi részünk volt. 1979-ben Norman Myers felvetette *The Sinking Ark* (A süllyedő bárka) című könyvében, hogy a különféle emberi tevékenységek bolygónkon hetente körülbelül két fajkihalást idéznek elő. Az 1990-es évek elejére ezt a számot már heti hatszázra emelte. (Itt most mindenféle faj kihalásáról van szó: növényekéről, rovarokéról és egyéb állatokéról.) Mások szerint még rosszabb a helyzet: hetenként több mint ezer faj tűnhet el. Az ENSZ egy 1995-ös jelentése szerint viszont az utolsó négyszáz évben kevesebb mint 500 ismert állatfaj, és valamivel több mint 650 ismert növényfaj pusztult ki, bár a szerzők megjegyzik, hogy a „valódi adatok ennél valószínűleg nagyobb értéket mutatnak", különösen a trópusi fajok esetében. Van tehát, aki szerint a fajkihalások száma nem tragikusan magas.

Ismét valami, amit nem tudunk. Mint ahogyan nem tudjuk azt sem, hogy kezdődött sok emberi eredményünk. Nem tudjuk, ma mit teszünk, és hogy mai cselekedeteink milyen hatással lesznek a jövőre nézve. Csak azt tudjuk biztosan, hogy mindössze egy bolygónk van, ahol tevékenykedhetünk, és ezen

csak egy faj képes tudatos cselekvésre. Edward O. Wilson ezt utánozhatatlan tömörséggel fejezte ki *The Diversity of Life* (*Az élet sokfélesége*) című könyvében: „Egy bolygó, egy kísérlet."

Ha e könyvnek van tanulsága, az az, hogy hihetetlenül szerencsések vagyunk, hogy itt lehetünk, és most a többes szám első személy alatt az összes élőlényre gondolok. A mi világegyetemünkben bármiféle élet megvalósítása nagy teljesítmény. Emberként pedig kétszeresen is szerencsések vagyunk. Nemcsak létezünk, de ezt értékelni is tudjuk, sőt, életünket sokféleképpen jobbíthatjuk is. Ezt a trükköt csak nemrég tanultuk.

Kitüntetett helyzetünket egészen rövid idő alatt értük el. A mai ember a Föld történetének csak 0,0001 %-a óta – egészen jelentéktelen ideje – van jelen, de ehhez a rövid szerepléshez is szerencsés események szinte végtelen láncolatának kellett vezetnie.

Csak most kezdtük el. Vigyáznunk kell tehát, hogy soha ne fejezzük be. És ehhez, biztos vagyok benne, a szerencsénél sokkal többre lesz szükségünk.

JEGYZETEK

1. FEJEZET
Hogyan építsünk világegyetemet

19.o. „A protonok olyan kicsik...”: Bodanis, $E = mc^2$, 111. oldal.

19.o. „És pakoljunk ebbe a picike térbe...”: Guth, *A felfúvódó világegyetem*, 254. oldal.

20.o. „Mostanában úgy tűnik, egyre többen megegyeznek abban, hogy a vitatott időpont körülbelül 13,7 milliárd éve lehetett...”: *New York Times*, „Cosmos Sits for Early Portrait, Gives up Secrets” (A kozmosz beleegyezett, hogy lefessék ifjúkorában, és elárulta egy-két titkát is), 2003. február 12., 1. oldal. US News and World Report, „How Old Is the Universe?” (Hány éves a világegyetem?), 1997. augusztus 18-25., 34-6. oldal.

20.o. „...bekövetkezett a pillanat, amelyet a tudósok a t = 0 kifejezéssel jelölnek”: Guth, *A felfúvódó világegyetem*, 86. oldal.

21.o. „Visszamásztak az antennába, és seprűvel meg súrolókefével megtisztították...”: Lawrence M. Krauss, „Rediscovering Creation” (A teremtés újrafelfedezése) a Shore szerkesztette *Mysteries of Life and the Universe* (*Az élet és a világegyetem rejtélyei*) című kötetben, 50. oldal.

21.o. „...javaslatot is tett egy műszerre, amivel a sugárzást ki lehetne mutatni: ez volt a holmdeli Bell antenna”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 153. oldal.

21.o. „Penzias és Wilson felfedezésével az általunk látható világegyetem határa...”: Guth, *A felfúvódó világegyetem*, 101. oldal.

22.o. „...a képernyőn táncoló jelek közül körülbelül minden századikat...”: Gribbin, *In the Beginning (Kezdetben)*, 18. oldal.

23.o. „Ezek már majdnem vallási kérdések”: *New York Times*, „Before the Big Bang, There Was... What?” (Egyszer volt, hol nem volt, az ősrobbanás előtt volt... mi is?), 2001. május 22. F1. oldal.

23.o. „...a másodperc tízmilliomod része, trilliomod részének a trillio-mod részének a trilliomoda”: Alan Lightman, „First Birth” (Első születés), a Shore szerkesztette *Mysteries of Life and the Universe (Az élet és a világegyetem rejtélyei)* című kötetben, 13. oldal.

23.o. „Guth ekkor harminckét éves volt, és saját bevallása szerint, addig semmi...”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 216. oldal.

23.o. „Az előadás hatására Guth elkezdett...”: Guth, *A felfúvódó világegyetem*, 89. oldal.

24.o. „...méretét 10^{-34} másodpercenként megkétszerezve”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 242. oldal.

24.o. „...a világegyetem egy olyan valamiből, ami elférne a tenyerünkben, egy legalább 10 000 000 000 000 000 000 000 000-szor akkora valamivé lett”: *New Scientist*, „The First Split Second” (Az első másodperctöredék), 2001. március 31., 27-30. oldal.

24.o. „...tökéletesen fel volt készülve a csillagok, galaxisok és más bonyolult rendszerek létrehozására”: *Scientific American*, „The First Stars in the Universe” (A világegyetem első csillagai), 2001. december, 64-71. oldal, *New York Times*, „Listen Closely: From Tiny Hum Came Big

Bang" (Ha odafigyelsz, hallod a zümmögést, ami az ősrobbanást okozta), 2001. április 30., 1. oldal.

25.o. „...Tryon azt hangsúlyozza, hogy senki nem számolta meg a sikertelen kísérleteket": Guth idézi *A felfúvódó világegyetem* 14. oldalán.

25.o. „Egy nagy ruházati üzlethez hasonlítja a helyzetet...": *Discover,* „Why is There Life?" (Miért van élet?), 2000. november, 66. oldal. 25.o. „...ha egyet a legkisebb mértékben is megváltoztatunk...": Rees, Csak hat szám (az eredeti műben: 147. oldal).

25.o. „Hosszú távon persze kiderülhet, hogy a gravitáció egy kicsit mégis túl erős...": *Financial Times* „Riddle of the Flat Universe" (A lapos világegyetem rejtélye), 2000. július 1-2.; *Economist*, „The World is Flat after AH" (Kiderült, hogy a világ mégis lapos), 2000. május 20., 97. oldal.

26.o. „...a galaxisok rohamosan távolodnak egymástól": Weinberg, *Dreams of a Final Theory (Álmok egy végső elméletről)*, 26. oldal

26.o. „A tudósok mégis feltételezik, hogy nem lehetünk a világegyetem közepén...": Hawking, Az idő rövid története (az eredeti műben: 47. oldal).

26.o. „Ez a látható világegyetem – az, amit ismerünk, és amiről egyáltalán beszélhetünk...: Hawking, *Az idő rövid története* (az eredeti műben: 13. oldal).

27.o. „...ennek a nagyobb, láthatatlan világegyetemnek a széléig...": Rees, *Csak hat szám* (az eredeti műben: 147. oldal).

2. FEJEZET
Üdvözöljük Naprendszerünkben

28.o. „A távoli csillagok legkisebb villanásából vagy ingadozásából...”: *New Yorker*, „Among Planets” (Bolygók között), 1996. december 9. 84. oldal.

28.o. „...kisebb mennyiséget kapnánk, mint amekkora energiával egy hópehely a földre száll...”: Sagan, *Cosmos (Kozmosz)*, 261. oldal.

28.o. „Azon a nyáron... James Christy, egy fiatal csillagász...”: az Egyesült Államok Tengerészeti Csillagvizsgálójának sajtóközleménye, „20th Anniversary of the Discovery of Pluto’s Moon Charon” (A Plútó Kharón holdja felfedezésének 20. évfordulója), 1998. június 22.

29.o. „...a Plútó sokkal kisebb, mint azt bárki is feltételezte...”: *Atlantic Monthly*, „When Is a Planet Not a Planet?” (Mikor nem bolygó egy bolygó?), 1998. február, 22-34. oldal.

29.o. „Clark Chapman csillagász szerint...”: az idézet a PBS Nova című műsorának „*Doomsday Asteroid*” című részéből való, az első adás ideje: 1997. április 29.

29.o. „...még hét évbe telt, amíg valaki ismét meglátta a holdat...”: Egyesült Államok Tengerészeti Csillagvizsgálójának sajtóközleménye, „20th Anniversary of the Discovery of Pluto’s Moon Charon” (A Plútó Kharón holdja felfedezésének 20. évfordulója), 1998. június 22.

30.o. „...egy év türelmes keresés után valahogyan megtalálta a Plútót...”: Tombaugh, „The Struggles to Find the Ninth Planet” (Küzdelem a kilencedik bolygó megtalálásáért) című cikke a NASA honlapján.

30.o. „Egyes csillagászok még mindig lehetségesnek tartják, hogy valahol az űrben mégis van egy X bolygó...”: *Economist*, „X marks the spot” (Az X jelöli a helyet), 1999.október 16., 83. oldal

31.o. „A Kuiper-öv létezését először F. C. Leonard csillagász vetette fel 1930-ban...”: *Nature*, „Almost Planet X” (Majdnem X bolygó), 2001. május 24., 423. oldal.

31.o. „A Plútó csak 1999. február 11-én tért vissza a Neptunuszon kívülre...”: Economist „Pluto Out in the Cold” (Plútó kinn a hidegben), 1999. február 6., 85. oldal.

31.o. „...2002 decemberének elejéig több mint hatszáz Neptunuszon túli objektumot...”: *Nature*, „Seeing Double in the Kuiper Beit” (Kettős látás a Kuiper-övben), 2002. december 12., 618. oldal

31.o. „...körülbelül akkora, mint egy darab széné...”: *Nature*, „Almost Planet X” (Majdnem X bolygó), 2001. május 24., 423. oldal.

32.o. „...ebben a pillanatban is körülbelül 56 000 km/h sebességgel távolodnak tőlünk”: PBS *NewsHour* szövegkönyv, 2002. augusztus 20.

32.o. „...de a benne látható dolgok... a rendelkezésre álló tér egybilliomodát sem töltik ki”: *Natural History*, „Between the Planets” (Bolygók között), 2001.október, 20. oldal.

33.o. „Most már legalább százról tudunk...”: *New Scientist*, „Many Moons” (Sok hold), 2001. március 17., 39. oldal, *Economist*, „A Roadmap for Planet-Hunting” (Térkép bolygóvadászoknak), 2000. április 8., 87. oldal.

33.o. „...át kell haladnunk az Oort-felhőn... sajnos csak körülbelül tízezer év múlva érjük el”: Sagan és Druyan, *Comet (Üstökös)*, 198. oldal.

33.o. „...a legénység valószínűleg odaveszne...”: *New Yorker*, „Medicine on Mars” (Orvoslás a Marson), 2000. február 14., 39. oldal

34.o. „...az üstökösök méltóságteljesen, mintegy 350 km/h sebességgel mozognak”: Sagan és Druyan, *Comet (Üstökös)*, 195. oldal.

34.o. „A csillagok közötti űr az ember alkotta legtökéletesebb vákuumnál is üresebb”: Ball, H_2O, 15. oldal.

34.o. „A kozmoszban a legközelebbi szomszédunk a Proxima Centauri...”: Guth, *A felfúvódó világegyetem*, 1. oldal, Hawking, Az idő rövid története (az eredeti műben: 39. oldal).

35.o. „A csillagok között átlagosan...”: Dyson, *Disturbing the Universe (A világegyetem megzavarása)*, 251. oldal.

36.o. „Ha valakit véletlenszerűen letennének valahol a világegyetemben...”: Sagan, *Cosmos (Kozmosz)*, 5. oldal.

3. FEJEZET
Evans tiszteletes világegyeteme

37.o. „..egy pillanat alatt százmilliárd nap energiája keletkezik...”: Ferris, *The Whole Shebang (A világmindenség)*, 37. oldal.

37.o. „Olyan, mintha egyszerre billió hidrogénbombát robbantanának fel...”: Robert Evans nyilatkozata az ausztráliai Hazelbrookban, 2001. szeptember 2-án.

38.o. „...egész szakaszt szentel neki az egyik, autista tudósokról szóló fejezetben...”: Sacks, *Antropológus a Marson* (az eredeti műben: 189. oldal).

39.o. „...bosszantó pojácának tartotta”: Thorne, *Black Holes and Time Warps (Fekete lyukak és időutazások)*, 164. oldal.

39.o. „...nem volt hajlandó kettesben maradni vele...”: Ferris, *The Whole Shebang (A világmindenség)*, 125. oldal.

39.o. „Bizonyíthatóan azzal fenyegette... Baadét, hogy megöli...”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 18. oldal.

39.o. „Az atomok összeszorulnának...”: *Nature*, „Twinkle, twinkle, Neutron Star” (Süss fel, neutroncsillag, fényes neutroncsillag), 2002. november 7. 31. oldal

39.o. „...elég lenne a világegyetem leghatalmasabb robbanásához...”: Thorne, *Black Holes and Time Warps (Fekete lyukak és időutazások)*, 175. oldal.

40.o. „...még mindig nincsen bebizonyítva”: Thorne, *Black Holes and Time Warps (Fekete lyukak és időutazások)*, 174. oldal.

40.o. „...a fizika és a csillagászat történetének egyik leginkább jövőbe látó dokumentuma”: Thorne, *Black Holes and Time Warps (Fekete lyukak és időutazások)*, 174. oldal.

40.o. „...nem ismerte eléggé a fizika törvényeit...”: Thorne, *Black Holes and Time Warps (Fekete lyukak és időutazások)*, 175. oldal.

40.o. „Majdnem negyven év kellett hozzá, hogy valaki komolyan vegye...”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 153. oldal.

40.o. „...körülbelül 6000 csillagot látni szabad szemmel...”: Harrison, *Darkness at Night (Éjjeli sötétség)*, A Riddle ofthe Universe. (Éjjeli sötétség: A világegyetem nagy rejtélye)

42.o. „1987-ben... Saul Perlmutter... kidolgozott egy szisztematikus eljárást a felkutatásukra”: a BBC *Horizon* című sorozatának „From Here to Infinity” (Most és mindörökké) című adása; első sugárzás: 1999. február 28.

43.o. „Egy ilyen esemény híre valóban fénysebességgel terjed, de maga a robbanás is...”: John Thorstensennel folytatott beszélgetésemből, Hannover (New Hampshire), 2001. december 5.

44.o. „Mindössze fél tucat írásos feljegyzést ismerünk szabad szemmel is látható szupernóvákról”: Evans megjegyzése, 2002. december 3.

44.o. „...kozmológusról és nagy vitatkozóról”: *Nature*, „Fred Hoyle (1915-2001)”, 2001. szeptember 17., 270. oldal.

44.o. „...orrlyukunk pedig azért nyílik lefelé, hogy a kozmikus kórokozók nehezebben hulljanak bele”: Gribbin és Cherfas, *The First Chimpanzee (Az első csimpánz)*, 190. oldal.

45.o. „...a világegyetem állandó tágulásával új anyag is keletkezik”: Rees, Csak hat szám (az eredeti műben: 147. oldal).

45.o. „...meghaladhatja a 100 millió fokot is...”: Bodanis, $E = mc^2$, 187. oldal.
45.o. „...a Naprendszer tömegének 99,9%-ából...”: Asimov, *Atom*, 294. oldal.
45.o. „Kétszázmillió év alatt, de lehet, hogy hamarabb...”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 6. oldal.
45.o. „A Hold anyagának legnagyobb része a Föld kérgéből származik, és nem a belsejéből...”: a *New Scientist* melléklete, „Firebirth” (Tűzszületés), 1999. augusztus 7.
45.o. „...pedig a harvardi Reginald Daly már az 1940-es években felvetette”: Powell, *Night Comes to the Cretaceous (A kréta kor alkonya)*, 38. oldal.
46.o. „...a Föld véglegesen fagyos marad...”: Drury, *Stepping Stones (Lépcsőfokok)*, 144. oldal.

4. FEJEZET
A dolgok nagysága

50.o. „Hosszú és termékeny életútja során...”: Sagan és Druyan, *Comet (Üstökös)*, 52. oldal.

51.o. „...egy nagyon sajátságos és precíz görbe”: Feynman, *Six Easy Pieces (Hat könnyed előadás)*, 90. oldal.

51.o. „Hooke... azt állította, hogy már megfejtette a problémát...”: Gjertsen, *The Classics of Science (A tudomány klasszikusai)*, 219. oldal.

51.o. „...és körbetapogatózott vele »szemem és a csont között, annyira hátranyúltam, amennyire csak tudtam«...”: Ferris idézi a *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)* című könyve 106. oldalán.

51.o. „...de huszonhét éven át nem osztotta meg senkivel...”: Durant, *The Age of Louis XIV (XIV. Lajos kora)*, 538. oldal.

53.o. „Még Gottfried von Leibniz, a nagy német matematikus...”: Durant, *The Age of Louis XIV (XIV. Lajos kora)*, 546. oldal.

53.o. „...az egyik legkevésbé érthető könyvnek...”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 31. oldal.

53.o. „...arányos mindkettő tömegével, és fordítottan arányos a kettő közötti távolsággal”: Feynman, *Six Easy Pieces (Hat könnyed előadás)*, 69. oldal.

54.o. „Newton, szokása szerint, ehhez semmit nem tett hozzá”: Calder, *The Comet Is Coming! (Jön az üstökös!)*, 39. oldal.

54.o. „...ezentúl fizetését a Halak történetének példányai jelentették”: Jardine, *Ingenious Pursuits: (Elmés foglalatosságok)*, 36. oldal.

55.o. „...halálpontosan...”: Wilford, *The Mapmakers (A térképészek)*, 98. oldal.

57.o. „A Föld 43 kilométerrel vastagabb, ha az Egyenlítőnél mérjük, mint ha a sarkok közelében”: Asimov, *Exploring the Earth and the Cosmos (A Föld és a kozmosz felfedezése)*, 86. oldal.

58.o. „Guillaume le Gentil még rosszabbul járt”: Ferris, *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)*, 134. oldal.

59.o. „Mason és Dixon levélben jelezte a Királyi Társaságnak...”: Jardine, *Ingenious Pursuits (Elmés foglalatosságok)*, 141. oldal.

60.o. „...azt mesélték, »szénbányában született«...”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 12. kötet, 1302. oldal.

60.o. „Tudjuk, hogy 1772-ben...”: *American Heritage*, „Mason and Dixon: Their Line and its Legend” (Mason és Dixon: A Vonal és legendája), 1964. február, 23-9. oldal.

61.o. „Az egyszerűség kedvéért Hutton feltételezte...”: Jungnickel és McCormmach, *Cavendish*, 449. oldal.

62.o. „...Michelltől kért tanácsot a távcsövek elkészítésével kapcsolatban...”: Calder, *The Comet Is Coming! (Jön az üstökös!)*, 71. oldal.

62.o. „...»már-már kóros« szerénységben szenvedett”: Jungnickel és McCormmach, Cavendish, 306. oldal.

62.o. „...beszéljen bele a levegőbe...”: Jungnickel és McCormmach, *Cavendish*, 305. oldal.

63.o. „J. G. Crowther tudománytörténész szerint »Cavendish sejtette« Kelvin és G. H. Darwin fel-

fedezését, hogy az árapálysúrlódás lassítja a Föld forgását...”: Crowther, *Scientists of the Industrial Revolution (Az ipari forradalom tudósai)*, 214-15. oldal.

64.o. „A gép közepén két 160 kilogrammos ólomgolyó volt...”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 3. kötet, 1261. oldal.

64.o. „...hatmilliárd billió tonna...”: *Economist*, „G Whiz” (G mágus), 2000. május 6., 82. oldal.

5. FEJEZET
A kőtörők

66.o. „Minden elbeszélő megegyezik abban, hogy Huttonnek éles meglátásai voltak, és szórakoztató volt vele beszélgetni...”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 10. kötet, 354-356. oldal.

66.o. „...szinte teljesen hiányoztak belőle a retorikai készségek...”: Dean, *James Hutton and the History of Geology (James Hutton és a geológia története)*, 18. oldal.

67.o. „Vezető tagja lett az Oyster (Osztriga) Club nevű társaságnak...”: McPhee, *Basin and Range (Medence és hegylánc)*, 99. oldal.

68.o. „...francia forrásokból származó idézetekből állt, lefordítatlanul”: Gould, *Times Arrow (Az idő nyila)*, 66. oldal.

68.o. „Egy harmadik, legalább ilyen kevéssé ígéretes kötet is készülőben volt, hogy csak 1899-ben... adták ki...”: Oldroyd, *Thinking about the Earth* (Gondolatok a Földről), 96-97. oldal.

68.o. „Még Charles Lyell... is beismerte, hogy nem tudta átrágni magát rajta”: Schneer, *Toward a History of Geology (Egy geológiatörténet felé)*, 128. oldal.

69.o. „1807 telén...”: A Geológiai Társaság irataiból, *A Brief History of the Geological Society of London (A Londoni Geológiai Társaság rövid története)*.

69.o. „A tagok novembertől júniusig havonta kétszer találkoztak...”: Rudwick, *The Great Devonian Controversy (A nagy devon kori vita)*, 25. oldal.

70.o. „Még az egyik komoly murchinsonista olvasó is hiányolta...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 28. oldal.

70.o. „1794-ben belekeveredett az egyik, kicsit őrült nevű mozgalomba...”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyűgyík)*, 39. oldal.

70.o. „...ma Parkinson-kórként ismert betegség...”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 15. kötet, 314-315. oldal.

71.o. „...mert anyja meg volt győződve, hogy minden skót gyarló és iszákos...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 26. oldal.

71.o. „Egyszer Mrs. Buckland arra ébredt az éjszaka közepén, hogy férje felrázza...: Annan, *The Dons (A profok)*, 27. oldal.

72.o. „Másik furcsasága az volt...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 30. oldal.

72.o. „Amikor gondolataiba mélyedt...”: Desmond és Moore, Darwin, 202. oldal.

72.o. „...de mivel a legtöbben csak Lyell műveit olvasták...”: Schneer, Toward a *History of Geology (Egy geológiatörténet felé)*, 139. oldal.

72.o. „...újraosztják a kártyát...”: Clark, *The Huxleys (A Huxleyk)*, 48. oldal.

72.o. „...Ez a tan az emberi hanyagságra épül...”: Gould, *Dinosaur in a Haystack: (Dinoszaurusz a szénakazalban)*, 167. oldal.

72.o. „Nem adott meggyőző magyarázatot arra, hogyan jöttek létre a hegyláncok...”: Hallam, *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 135. oldal.

73.o. „...a bolygóból bizonyára hógolyó lett...”: Gould, *Ever since Darwin: (Darwintól fogva)*, 151. oldal.

73.o. „Elutasította az állat- és növényfajok hirtelen kihalásának lehetőségét...”: Stanley, *Extinction (A fajok kihalása)*, 5. oldal.

73.o. „...szinte az ő szemével nézi...”: Schneer, *Toward a History of Geology (Egy geológiatörténet felé)*, 288. oldal.

73.o. „De la Beche egy piszok kutya”: Rudwick, *The Great Devonian Controversy (A nagy devon kori vita)*, 194. oldal.

74.o. „...J. J. d’Omalius d’Halloy... bonyolult nevek...”: McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 190. oldal.

74.o. „Lyell eredetileg »szinkron« utótaggal szerette volna ellátni az elnevezéseket...”: *Gjertsen, The Classics of Science (A tudomány klasszikusai)*, 305. oldal.

75.o. „...»több tíz tucat« van belőlük”: McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 50. oldal.

75.o. „A kőzeteket más... egységekbe csoportosítják”: Powell, *Night Comes to the Cretaceous (A kréta kor alkonya)*, 200. oldal.

75.o. „Láttam már felnőtt embereket lázasan vitatkozni...”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 238. oldal.

75.o. „Amikor Buckland egy Ichtyosaurus csontvázának korát akarta megbecsülni...”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyűgyík)*, 149. oldal.

75.o. „A legismertebb korai kormeghatározási kísérlet...”: Gould, *Eight Little Piggies (Nyolc kismalac)*, 185. oldal.

76.o. „...a legtöbb tudós elfogadta, hogy a Föld fiatal”: Gould, T*ime’s Arrow (Az idő nyila)*, 114. oldal.

76.o. „Egyetlen nemzet egyetlen geológusa, akit mások komolyan vettek...”: Rudwick, *The Great Devonian Controversy (A nagy devon kori vita)*, 42. oldal.

76.o. „Még Buckland tiszteletes...”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyű gyík)*, 192. oldal.

76.o. „...valahol 75 000 és 168 000 év között...”: Hallam, Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták), 105. oldal és Ferris, *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)*, 246-247. oldal.

77.o. „Darwin A fajok eredetében bejelentette, hogy a Wealdet...”: Gjertsen, *The Classics of Science (A tudomány klasszikusai)*, 335. oldal.

77.o. „Hermann von Helmholtz német tudós...”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 78. oldal.

78.o. „...tucatnyi káprázatosan eredeti elméleti és alkalmazott matematikai cikket írt angolul és franciául, amelyeket nem a saját nevén adatott ki...”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 79. oldal.

78.o. „Huszonkét éves korában visszatért a Glasgow-i Egyetemre...”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 1901, 191-es függelék, 508. oldal.

6. FEJEZET
Tudomány foggal-körömmel

80.o. „...beszámolt róla a Philadelphiai Amerikai Filozófiai Társaság őszi ülésén...”: Colbert, *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*, 4. oldal.

80.o. „Ennek az oka Buffon gróf...”: Kastner, *A Species of Eternity (Egy faj az örökkévalóságból)*, 123. oldal.

81.o. „Egy Corneille de Pauw nevű holland...”: Kastner, *A Species of Eternity (Egy faj az örökkévalóságból)*, 124. oldal.

82.o. „1796-ban Cuvier egy korszakalkotó cikket írt *Note on the Species of Living and Fossil Elephants (Megjegyzés az élő és fosszilis elefántok fajairól)* címmel...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 15. oldal.

82.o. „Jefferson például nem viselte volna el, hogy egy egész faj eltűnhet...”: Simpson, *Fossils and the History of Life (Az őskövületek és az élet története)*, 7. oldal.

83.o. „1796. január 5-én este egy somerseti postaállomás fogadójában ülve...”: Harrington, *Dance of the Continents (A földrészek tánca)*, 175. oldal.

83.o. „Hogy miért, az nem tartozik egy bányafelügyelő hatáskörébe”: Lewis, *The Dating Game (A kormeghatározási játék)*, 17-18. oldal.

83.o. „Cuvier saját magának úgy magyarázta a dolgot...”: Barber, *The Heyday of Natural History (A természetrajz aranykora)*, 217. oldal.

84.o. „1806-ban a Lewis és Clark vezette expedíció átkelt a Montana állambeli Hell Creek képződményen...”: Colbert, *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*, 5. oldal.

84.o. „Állítólag róla szól az ismert angol nyelvtörő...”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyű gyík)*, 3. oldal.

85.o. „Tíz év türelmes munkájába került csak a Plesiosaurus kiásása”: Barber, *The Heyday of Natural History (A természetrajz aranykora)*, 127. oldal.

85.o. „Mantell azonnal felismerte, hogy az egy megkövült fog...”: New Zealand Geographic, *„Holy Incisors! What a Treasure” (Szent Metszőfogak! Micsoda kincs!)*, 2000. április-június, 17. oldal.

86.o. „A nevet valójában barátja, dr. James Parkinson javasolta...”: Wilford, *The Riddle of the Dinosaur (A dinoszaurusz rejtélye)*, 31. oldal.

87.o. „Végül gyűjteményének legnagyobb részét el kellett adnia, hogy ki tudja fizetni adósságait”: Wilford, *The Riddle of the Dinosaur (A dinoszaurusz rejtélye)*, 31. oldal.

87.o. „...a világ első »tematikus park«-ja”: *Fortey, Life (Az élet)*, 214. oldal.

87.o. „...néha törvénybe ütköző módon végtagokat, szerveket és más testrészeket kölcsönzött...”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyű gyík)*, 133. oldal.

88.o. „Egyszer a felesége arra ment haza, hogy egy frissen elhullott orrszarvútól nem tud belépni az előszobába”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyű gyík)*, 200. oldal.

88.o. „...egyes fajok nyúl nagyságúak voltak...”: Wilford, *The Riddle of the Dinosaur (A dinoszaurusz rejtélye)*, 5. oldal.

88.o. „...a leghatározottabban állítjuk, hogy nem voltak gyíkok...”: Bakker, *The Dinosaur Heresies (A dinoszaurusz-babonák)*, 22. oldal.

88.o. „...a dinoszauruszok a hüllőknek nem egy, hanem két rendjét alkotják...”: Colbert, *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*, 33. oldal.

89.o. „Ő volt az egyetlen ember, akit Charles Darwin gyűlölt”: *Nature*, „Owen’s Parthian Shot” (Owen perzsa nyila), 2001. július 12. 123. oldal.

89.o. „...apja »szánalmasan hideg szívéről« számolt be”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyű gyík)*, 321. oldal.

89.o. „...Huxley természettudós a Churchill’s Medical Directory lapozgatása során...”: Clark, *The Huxleys (A Huxleyk)*, 45. oldal.

90.o. „Eltorzult gerincét elküldték a Sebészek Királyi Társaságának...”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyű gyík)*, 291. oldal.

90.o. „...kiderült, hogy nem olyan eredeti, mint amilyennek elsőre látszott”: Cadbury, *Terrible Lizard (Szörnyű gyík)*, 261-262. oldal.

91.o. „...ő lett... a Londoni Természetrajzi Múzeum létrehozásának fő mozgatóereje”: Colbert, *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*, 30. oldal.

91.o. „Owen előtt a múzeumokat elsősorban a felsőbb körök...”: Thackray és Press, *The Natural History Museum (A Természetrajzi Múzeum)*, 24. oldal.

91.o. „Még azt a merész ötletet is felvetette, hogy tájékoztató feliratokat helyeznek el a kiállítási darabokhoz...”: Thackray és Press, *The Natural History Museum: (A Természetrajzi Múzeum)*, 98. oldal.

92.o. „...mindent beterítettek, mint az avar...”: Wilford, *The Riddle of the Dinosaur (A dinoszaurusz rejtélye)*, 97. oldal.

92.o. „...sikerült lenyűgöznie műfogsorának kivételével és ismételt visszahelyezésével”: Wilford, *The Riddle of the Dinosaur (A dinoszaurusz rejtélye)*, 100. oldal.

93.o. „...ezt a nyílt sértést jól megjegyezte”: Colbert, *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*, 73. oldal.

93.o. „...az Amerikában ismert dinoszauruszfajok száma 9-ről majdnem 150-re nőtt”: Colbert, *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*, 93. oldal.

93.o. „...az összes ismertebb dinoszauruszt...”: Wilford, *The Riddle of the Dinosaur (A dinoszaurusz rejtélye)*, 90. oldal.

93.o. „Egy Uintatheres anceps nevű fajt például nem kevesebbszer mint huszonkétszer fedeztek fel ketten együtt”: Psihoyos és Knoebber, *Hunting Dinosaurs (Dinoszaurusz-vadászat)*, 16. oldal.

94.o. „...amíg végül a villámháború egy német bombája szerencsésen elpusztította”: Cadbury, *Terrible Lizard (Rettentőgyík)*, 325. oldal.

94.o. „...Walter fia, aki 1840-ben kivándorolt Új-Zélandra, nagy részét magával vitte”: „Gideon Mantell – The New Zealand Connec-tion” (Az új-zélandi kapcsolat), 1992. április, *New Zealand Geographic*, „Holy Incisors! What a Treasure” (Szent Metszőfogak! Micsoda kincs!), 2000. április-június, 17. oldal.

94.o. „...innen az elnevezés”: Colbert, *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*, 151. oldal.

95.o. „Végül arra jutott, hogy a Föld 89 millió éves...”: Lewis, *The Dating Game (A kormeghatározási játék)*, 37. oldal. 95.o. „Akkora volt a zűrzavar...”: Hallam, *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 173. oldal. 7. fejezet Elemi dolgok

96.o. „...láthatatlanná tudja tenni magát”: Ball, H2O, 125. oldal.

97.o. „Egy uncia... foszfor hat fontba került volna...”: Durant, *The Age of Louis XIV (XIV. Lajos kora)*, 516. oldal.

97.o. „...a kémia történetében csak a mangán, a klór és a molibdén felfedezőjeként tartják számon”: Strathern, Mendeleyev’s Dream (Mengyelejev álma), 193. oldal.

98.o. „...Így jutottunk el a kémia két ágához...”: Davies, *The Fifth Miracle (Az ötödik csoda)*, 14. oldal.

98.o. „...mai pénzben ez körülbelül félmilliárd forint lenne”: White, *Rivals (Vetélytársak)*, 63. oldal.

98.o. „...feleségül vette egyik főnökének tizennégy éves lányát”: Brock, *The Norton History of Chemistry (A vegytan története a Norton kiadótól)*, 92. oldal.

98.o. „jour de bonhour”: Gould, *Bully for Brontosaurus (A Brontosaurus mázlija)*, 366. oldal.

89.o. „így történt, hogy 1780-ban Lavoisier helytelenítő megjegyzéseket tett...”: Brock, *The Norton History of Chemistry (A vegytan története a Norton kiadótól)*, 95-96. oldal.

89.o. „...Lavoisier egyet sem talált”: Strathern, Mendeleyev’s Dream (Mengyelejev álma), 239. oldal.

100.o. „...eltávolították, hogy beolvasszák”: Brock, *The Norton History of Chemistry (A vegytan története a Norton kiadótól)*, 124. oldal.

100.o. „...igen örömteli módon borzongató...”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 139. oldal.

100.o. „A színházakban »nevetőgázesteket« tartottak...”: Hamblyn, *The Invention of Clouds (A felhők feltalálása)*, 76. oldal.

101.o. „...Brown... vette észre...”: Silver, *The Ascent of Science (A tudomány felemelkedése)*, 201. oldal.

101.o. „...a szabadsággal kapcsolatos lagymatag magatartása miatt...”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 19. kötet, 686. oldal.

102.o. „...átmérője 0,00000008 centiméter...”: Asimov, *The History of Physics (A fizika története)*, 501. oldal.

104.o. „Később, nem tudni, miért...”: Ball, *H_2O*, 139. oldal.

104.o. „A Mengyelejev családot nem kísérte mindig a szerencse”: Brock, *The Norton History of Chemistry (A vegytan története a Norton kiadótól)*, 111. oldal.

104.o. „Hozzáértő, de nem különösebben kiemelkedő vegyésznek...”: Brock, *The Norton History of Chemistry (A vegytan története a Norton kiadótól)*, 111. oldal.

104.o. „...az idő még nem jött el, hogy előrukkoljon felfedezésével...”: Carey (szerk.), *The Faber Book of Science (A tudomány könyve a Faber kiadó kiadásában)*, 155. oldal.

105.o. „...a kémia csak számolás kérdése”: Ball, H_20, 139. oldal.

107.o. „...a legelegánsabb szerkezeti ábra, amit ember valaha feltalált”: Krebs, *The History and Use of our Earth’s Chemical Elements (Földünk vegyi elemeinek története és felhasználá-*

sa), 23. oldal.

107.o. „Ma körülbelül 120 elemet ismerünk...”: A *Nature* folyóirat egy beszámolójából: *„Mind over Matter?” (A szellem valóban erősebb az anyagnál?)*, szerző: Gautum R. Desiraju, 2002. szeptember 26.

107.o. „...csak elméletben létezhet”: Heiserman, *Exploring Chemical elements and their compounds (A vegyi elemek és vegyületeik felfedezése)*, 33. oldal.

107.o. „Marie Curie a jelenséget radioaktivitásnak nevezte el”:

109.o. „Bodanis, $E = mc^2$, 75. oldal.

109.o. „Halála napjáig nem fogadta el a Föld Rutherford szerinti korát...”: Lewis, *The Dating Game (A kormeghatározási játék)*, 55. oldal.

110.o. „...büszkén hirdette »radioaktív ásványvizeinek« terápiás hatását”: hirdetés a *Time* magazin 1927. január 3-i számának 24. oldalán.

110.o. „...használatát a fogyasztói termékekben csak 1938-ban tiltották be”: Biddle, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*, 133. oldal.

110.o. „Laboratóriumi feljegyzéseit ólommal bélelt dobozokban tartják...”: Science, *„We are Made of Starstuff” (Egy anyagból készültünk a csillagokkal)*, 2001. május 4., 863. oldal.

8. FEJEZET
Einstein világegyeteme

114.o. „...az általa tartott előadások szemeszterenként átlag alig több mint 1 diákot vonzottak”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 106. oldal.

114.o. „...káprázatosan megmagyarázta szinte minden... termodinamikai alapelvét”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 109. oldal.

114.o. „Gibbs lényegében megmutatta, hogy a termodinamika nem csak a hő és az energia... tudománya...”: Snow, *The Physicists (A fizikusok)*, 7. oldal.

114.o. „Gibbs Equilibriuma lett a »termodinamika Principiája«...”: Kevles, *The Physicists (A fizikusok)*, 33. oldal.

114.o. „Gondoljunk egy kártyacsomagra”: Ebbing, *General Chemistry (Általános vegytan)*, 755. oldal.

115.o. „A Michelson család még Albert kétéves korában kivándorolt az Egyesült Államokba, és mivel ez éppen az aranyláz idején volt, a kisfiú egy kaliforniai bányásztáborban nőtt fel...”: Kevles, *The Physicists (A fizikusok)*, 27-28. oldal.

116.o. „A fénysebességről kiderült, hogy minden irányban, minden évszakban azonos”: Thorne, *Black Holes and Time Warps (Fekete lyukak és időutazások)*, 64. oldal.

116.o. „...valószínűleg a fizika történetének leghíresebb negatív eredménye...”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 208. oldal.

116.o. „...Michelson... azok közé tartozott, akik úgy gondolták, hogy már nem maradt sok tudományos felfedeznivaló...”: *Nature*, „Physics from the Inside” (Fizika belülről), 2001. július 12., 121. oldal.

117.o. „...amelyek közül három, C. P. Snow szerint, »a fizikatörténet legnagyobb áttörései közé tartozott«...”: Snow, *The Physicists (A fizikusok)*, 101. oldal.

118.o. „Első dolgozata a hajszálcsövekben... haladó folyadék fizikájával foglalkozott...”: Bodanis, $E = mc^2$, 6. oldal.

118.o. „...a csendes, de termékeny connecticuti J. Willard Gibbs már ezt is kitalálta...”: Boorse és társai, *The Atomic Scientists (Az atomtudósok)*, 142. oldal.

118.o. „...a világ valaha megjelent tudományos dolgozatainak talán a legegyedülállóbbika...”: Ferris, *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)*, 193. oldal.

118.o. „...mintha Einstein »az összes következtetésre csupán gondolati úton, segítség... nélkül jutott volna el«: Snow, *The Physicists (A fizikusok)*, 101. oldal.

119.o. „...az átlagos felnőtt testében $7x10^{18}$ joule energia rejtőzik...”: Thorne, *Black Holes and Time Warps (Fekete lyukak és időutazások)*, 172. oldal.

119.o. „Még egy urániumbomba... is csak tömegének kevesebb mint 1%-át alakítja energiává”: Bodanis, $E = mc^2$, 77. oldal.

120.o. „– Nem szükséges – válaszolta. – Ritkán támadnak jó ötleteim”: *Nature*, „In the Eye of the Beholder” (A néző szemével), 2002. március 21., 264. oldal.

120.o. „...ez kétségtelenül az emberiség legmagasabb intellektuális teljesítménye”: Boorse és társai, *The Atomic Scientists (Az atomtudósok)*, 53. oldal.

120.o. „Einstein állítása szerint egyszerűen csak ült egy széken, amikor a gravitáció problémája az

eszébe jutott”: Bodanis, $E = mc^2$, 204. oldal.

120.o. „...1917 elején megjelent Kozmológiai megfontolások az általános relativitáselmélet alapján című munkája”: Guth, *The Inflationary Universe* (*A felfúvódó világegyetem*), 36. oldal.

120.o. „Einstein nélkül lehet, hogy még mindig várnánk... – írta Snow 1979-ben”: Snow, *The Physicists (A fizikusok)*, 21. oldal.

121.o. „Crouch szakterülete reménytelenül távol volt Einsteinétől...”: Bodanis, $E = mc^2$, 215. oldal.

121.o. „Csak azon gondolkodom, hogy ki lehet a harmadik”: *Hawking, Az idő rövid története* (az eredeti műben: 91. oldal) és Aczel, *Isten egyenlete* (az eredeti műben: 146. oldal)

121.o. „...minél gyorsabban mozognak, annál nyilvánvalóbbak ezek az effektusok”: Guth, *A felfúvódó világegyetem*, 37. oldal.

122.o. „...ha egy métalabdát 160 km/h sebességgel dobnak el, az 0,000000000002 grammal nagyobb tömegű lesz repülése közben”: Brockman és Matson, *How Things Are (A dolgok állása)*, 263. oldal.

122.o. „De (itt most megint Bodanistól idézek) másféle relativitással viszont mindennap találkozunk...”: Bodanis, $E = mc^2$, 83. oldal.

123.o. „...a világ legnagyobb hepehupás matraca...”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 55. oldal.

123.o. „Bizonyos értelemben a tömegvonzás nem is létezik...”: Kaku, „The Theory ofthe Universe?” (A világegyetem elmélete) a Shore által szerkesztett *Mysteries of Life and the Universe (Az élet és a világegyetem rejtélyei)* című kötet 161. oldalán.

124.o. „Edwin... ráadásul jó fizikai adottságai voltak”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 423. oldal.

124.o. „...egyetlen középiskolai atlétikai versenyen...”: Christianson, *Edwin Hubble*, 33. oldal.

126.o. „Egy ilyen segédmunkatárs, Annie Jump Cannon olyan jól ismerte a csillagokat, hogy kitalált számukra egy nagyon célszerű színkép-osztályozási rendszert...”: Ferris, *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)*, 258. oldal.

126.o. „...nagyon öreg csillagok, csillagászzsargon szerint II. populációsok...”: Ferguson, *Measuring the Universe (A világegyetem megmérése)*, 166-167. oldal.

126.o. „Standardgyertyaként használhatók...”: Ferguson, *Measuring the Universe (A világegyetem megmérése)*, 166. oldal.

126.o. „1923-ban bebizonyította, hogy az Androméda csillagkép M31-es jelű, távoli, pókhálószerű ködje egyáltalán nem gázfelhő...”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 45. oldal; *Natural History*, „Delusions of Centrality” (Tévedés, hogy mi vagyunk a középpontban) 2002. december-2003. január, 28-32. oldal.

127.o. „...szintén egy nagy hatású, eredeti gondolatokban gazdag elméletet dolgozott ki, nevezetesen azt, hogy a Holdon lévő sötétebb foltokat a növénytakaró időszakos változásai okozzák”: Moore, *Fireside Astronomy (Csillagászati csevegés)*, 63. oldal.

127.o. „Stephen Hawking szerint csak az a csoda, hogy ezt megelőzően senki nem gondolt a világegyetem tágulására”: Hawking, *A világegyetem dióhéjban (The Universe in a Nutshell)*, az eredeti kiadás 71-72. oldala.

128.o. „1936-ban Hubble írt egy nagyon sikeres könyvet *The Realm of the Nebulae (A nebulák birodalma)* címmel...”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*,

13. oldal.

128.o. „Most, fél évszázaddal később még mindig nem tudjuk, hol nyugszik a század legnagyobb csillagásza”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 28. oldal.

9. FEJEZET
A hatalmas atom

129.o. „Minden atomokból van”: Feynman, Six Easy Pieces (Hat köny-nyed előadás), 4. oldal.
129.o. „...45 milliárd milliárd molekula...”: Gribbin, *A természettudományokról mindenkinek (Almost Everyone's Guide to Science)*, az eredeti műben: 250. oldal.
130.o. „...atomjaink közül körülbelül egymilliárdnak jó esélye van...”: Davies, *The Fifth Miracle (Az ötödik csoda)*, 127. oldal.
130.o. „Maguk az atomok viszont gyakorlatilag örök életűek”: Rees, *Csak hat szám* (az eredeti műben: 96. oldal).
130.o. „Ha szabad szemmel szeretnénk megfigyelni egy csepp vízben úszó papucsállatkát...”:, Six Easy Pieces (*Hat könnyű darab*), 4-5. oldal.
131.o. „...mintha egy új bolygót kívánnánk bevinni a Naprendszerbe...”: Boorstin, *The Discoverers (A felfedezők)*, 679. oldal.
132.o. „1826-ban P. J. Pelletier francia vegyész Manchesterbe utazott...”: Gjertsen, *The Classics of Science (A tudomány klasszikusai)*, 260. oldal.
132.o. „Pelletier zavarba jött, amikor végre találkozott a Nagy Férfiúval, és így szólt...”: Holmyard, *Makers of Chemistry (A vegyészet megteremtői)*, 222. oldal.
132.o. „...koporsóját negyvenezer ember kísérte; a gyászmenet három kilométeres volt”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 5. kötet, 433. oldal.
132.o. „Dalton gondolata egy egész évszázadon keresztül...”: Baeyer, *Taming the Atom (Az atom megszelídítése)*, 17. oldal.
132.o. „...Boltzmann 1906-ban bekövetkezett öngyilkosságának egyik oka”: Weinberg, *The Discovery of Subatomic Particles (A szubatomos részecskék felfedezése)*, 3. oldal.
133.o. „Lent termesztettek és sok gyereket neveltek”: Weinberg, *The Discovery of Subatomic Particles (A szubatomos részecskék felfedezése)*, 104. oldal.
133.o. „Ha egy matadort választott volna helyettem...”: Cropper idézi a *Great Physicists (Nagy fizikusok)* 259. oldalán.
133.o. „Rutherford megértette volna érzéseit”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 317. oldal.
133.o. „...a felénél abbahagyta a levezetést, és felszólította a diákokat, hogy otthon fejezzék be egyedül”: Wilson, *Rutherford*, 174. oldal.
133.o. „...ameddig csak ellátott...”: Wilson, *Rutherford*, 208. oldal.
133.o. „Ő volt az egyik első aki felfedezte...”: Wilson, Rutherford, 208. oldal.
134.o. „Minek neki rádió?”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 328. oldal.
134.o. „Derékbőségem egyre nő, még szerencse, hogy az eszem is”: Snow, *Variety of Men (Sokféle ember)*, 47. oldal.
134.o. „...feladta, amikor egy régebben ott dolgozó kollégája meggyőzte arról, hogy a rádiónak nincsen nagy jövője”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 94. oldal.
135.o. „Egyes fizikusok úgy vélték, az atomok kocka alakúak...”: Asimov, *The History of Physics (A fizika története)*, 551. oldal.
135.o. „Az atom legfontosabb tulajdonsága a benne lévő protonok száma”: Guth, *A felfúvódó világ-*

egyetem, 90. oldal.

135.o. „Ha az atomhoz egy-két neutront adunk, vagy egyet-kettőt elveszünk belőle”: Atkins, *The Periodic Kingdom (A periódusos királyság)*, 106. oldal.

136.o. „Az atommag kicsi, az atom térfogata milliárdod részének mindössze egymilliomod része...”: Gribbin, *A természettudományokról mindenkinek (Almost Everyone's Guide to Science)*, az eredeti műben: 35. oldal.

136.o. „...viszont a légy sok ezerszer nehezebb lenne, mint az egész épület”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 245. oldal.

136.o. „...akár át is hatolhatnának egymáson, mint két galaxis”: Ferris, *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)*, 288. oldal.

137.o. „Az atomok viselkedése annyira eltér attól, amit mindennapi világunkban tapasztalunk...”: Feynman, *Six Easy Pieces (Hat könnyed előadás)*, 117. oldal.

138.o. „...nagy szerencse, hogy ez a felfedezés ennyit késett...”: Boorse és társai, *The Atomic Scientists (Az atomtudósok)*, 338. oldal.

139.o. „Hiszen még azt sem tudom, mi az a mártix”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 269. oldal.

139.o. „És nem csak arról van szó, hogy nem állnak rendelkezésre megfelelően pontos eszközök...”: Ferris, *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)*, 288. oldal.

139.o. „...amikor az elektront éppen senki nem észleli, az „egyszerre van mindenütt és sehol”: David H. Freedman, „Quantum Liaisons” (Kvantumviszonyok) a Shore szerkesztette *Mysteries of Life and the Universe (Az élet és a világegyetem rejtélyei)* című kötetben, 137. oldal.

139.o. „...aki nem dühödik fel, amikor először hall a kvantumelméletről, az nem értette, mit mondtak neki”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 109. oldal.

139.o. „Meg se próbáld”: Baeyer, *Taming the Atom (Az atom megszelídítése)*, 43. oldal.

139.o. „Maga a felhő egy statisztikai valószínűségi zóna...”: Ebbing, *General Chemistry (Általános vegytan)*, 295. oldal.

140.o. „...a világegyetem olyan területével találkoztak, amelynek megértéséhez az emberi agy alkalmatlan...”: Trefil, *101 Things You Dont Know About Science (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról)*, 62. oldal.

140.o. „...a dolgok kicsiben egyáltalán nem úgy működnek, mint nagyban”: Feynman, *Six Easy Pieces (Hat könnyed előadás)*, 33. oldal.

140.o. „...egyszer csak anyag keletkezhet ott, ahol egy pillanattal ezelőtt még semmi nem volt...”: Alan Lightman, „First Birth” (Első szülés) a Shore szerkesztette *Mysteries of Life and the Universe (Az élet és a világegyetem rejtélyei)* című kötetben, 13. oldal.

140.o. „Olyan ez... mintha két egyforma biliárdgolyónk lenne...”: Lawrence Joseph, „Is Science Common Sense” (A tudomány felfogható józan ésszel?) a Shore szerkesztette *Mysteries of Life and the Universe (Az élet és a világegyetem rejtélyei)* című kötetben, 42-43. oldal.

140.o. „A jelenséget 1997-ben bizonyították be...”: *Christian Science Monitor*, „Spooky Action at a Distance” (Kísérteties távolsági hatás), 2001.október 4.

141.o. „...hogyan is lehetne »előre jelezni a jövőbeli eseményeket«...”: Hawking, *Az idő rövid története* (az eredeti műben: 61. oldal).

141.o. „A tudósok ezt a problémát úgy hidalják át, hogy... nem gondolnak rá”: David H. Freedman, „Quantum Liaisons” (Kvantumviszonyok) a Shore szerkesztette *Mysteries of Life and the*

Universe (Az élet és a világegyetem rejtélyei) című kötetben, 141. oldal.

141.o. „A gyenge kölcsönhatás nem is olyan gyenge; a gravitáció tízmilliárdszorosa milliárdszorosának a milliárdszorosa...”: Ferris, *The Whole Shebang (A világmindenség)*, 297. oldal.

141.o. „Az erős kölcsönhatás hatósugara körülbelül egy atom átmérőjének a százezred része”: Asimov, *Atom*, 258. oldal.

142.o. „Élete hátralévő részében...”: Snow, *The Physicists (A fizikusok)*, 89. oldal.

10. FEJEZET
Ki az ólommal!

144.o. „Ennek tünete lehet vakság, álmatlanság, veseelégtelenség, halláskárosodás, de eredményezhet rákot...”: McGrayne, *Prometheans in the Lab (Titánok a laborban)*, 88. oldal.

144.o. „...ezek az emberek valószínűleg a túl kemény munkába őrültek bele...”: McGrayne, *Prometheans in the Lab (Titánok a laborban)*, 92. oldal.

145.o. „Valójában tisztában volt az ólommérgezés veszélyével...”: McGrayne, *Prometheans in the Lab (Titánok a laborban)*, 92. oldal.

145.o. „1929-ben egy clevelandi kórházban egy szivárgó hűtőszekrény több mint száz ember halálát okozta”: McGrayne, *Prometheans in the Lab (Titánok a laborban)*, 96. oldal.

145.o. „Egyetlen kilogramm CFC 70 000 kilogramm légköri ózont semmisít meg”: Biddle, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*, 62. oldal.

145.o. „Egyetlen CFC-molekula körülbelül tízezerszer jobban fokozza az üvegházhatást, mint egy szén-dioxid-molekula...”: Science, „The Ascent of Atmospheric Sciences” (A légköri tudományok felemelkedése), 2000.október 13., 299. oldal.

145.o. „Halála felejthetetlenül különleges volt”: *Nature*, 2001. szeptember 27., 364. oldal.

146.o. „Egészen idáig a legrégebbi megbízható dátumok az I. Egyiptomi Birodalom korából származtak...”: Willard Libby, „Radiocarbon Dating” (Radiokarbon-kormeghatározás) című előadása a Nobel-díj kiosztásakor, 1960. december 12.

146.o. „Nyolc felezési idő után az eredeti radioaktív szénnek már csak 0,39%-a marad meg”: Gribbin és Gribbin, *Ice Age (Jégkorszak)*, 58. oldal.

146.o. „...minden, aminek a dátumát radiokarbon-kormeghatározással állapították meg, 3%-kal fiatalabbnak látszik a valódi koránál”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 17 A. oldal.

146.o. „...olyan, mintha pénzolvasás során ezer dollár helyett 1001-et számolnánk...”: Flannery, *The Future Eaters (A jövőzabálók)*, 151. oldal.

147.o. „Kétséges például, hogy Észak-, illetve Dél-Amerikába mikor jöttek először emberek; ez a kérdés állandó vita tárgya”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 174. oldal.

147.o. „...a régi vita, hogy a szifilisz vajon az Új- vagy az Óvilágból származik”: *Science*, „Can Genes Solve the Syphilis Mystery?” (A gének meg tudják oldani a szifiliszrejtélyt?), 2001. május 11., 109. oldal.

148.o. „Sajnos ekkor újabb akadályba ütközött: maradi tudóstársai nem fogadták el az eredményt”: Lewis, *The Dating Game (A kormeghatározási játék)*, 204. oldal.

149.o. „Végül ezért építettek steril laboratóriumot...”: Powell, *Mysteries of Terra Firma (A szárazföld rejtélyei)*, 58. oldal.

150.o. „...ez a szám ma, ötven évvel később sem változott...”: McGrayne, *Prometheans in the lab (Titánok a laborban)*, 173. oldal.

150.o. „Az egyik ilyen szakvélemény egy olyan orvostól származik, aki nem részesült külön kémiai-patológiai képzésben”: *Prometheans in the lab (Titánok a laborban)*, 94. oldal.

150.o. „...körülbelül 90%-a a kipufogógázokból származik...”: *The Nation*, „The Secret Historry of

Lead” (Az ólom titkos története), 2000. március 20. (a lap neve: *The Nation*!)

150.o. „Ez a gondolat indította el az első ilyen jégmagvizsgálatokat, amelyeken ma a modern éghajlattan alapul”: Powell, *Mysteries of Terra Firma (A szárazföld rejtélyei)*, 60. oldal.

151.o. „...az Etil vezető állású tisztviselői állítólag felajánlották, hogy új kart létesítenek az intézményben, ha Patterson »szedi a sátorfáját”: *The Nation*, „The Secret History of Lead” (Az ólom titkos története), 2000. március 20.

151.o. „Az amerikaiak vérének ólomtartalma szinte azonnal 80%-kal csökkent”: *Prometheans in the hab (Titánok a laborban)*, 169. oldal.

151.o. „...a ma élő amerikaiak vérében még mindig körülbelül 625-ször annyi ólom van, mint a száz évvel korábban élt elődeikében”: *The Nation*, „The Secret History of Lead” (Az ólom titkos története), 2000. március 20.

151.o. „A légköri ólom mennyisége is nő, teljesen törvényesen, méghozzá évente százezer tonnával...”: Green, *Water, Ice and Stone (Víz, jég és kő)*, 258. oldal.

151.o. „...44 évvel később, mint Európa legtöbb országában...”: *Prometheans in the Lab (Titánok a laborban)*, 191. oldal.

151.o. „...az Etil még mindig azt állította, hogy »a kutatások nem mutatták ki, hogy az ólmozott üzemanyag veszélyezteti az ember egészségét vagy a környezetet«„: *Prometheans in the Lab (Titánok a laborban)*, 191. oldal.

152.o. „...vígan keringenek tovább fölöttünk, ózont pusztítva, még akkor is, amikor már sem én, sem az olvasó nem leszünk itt”: Biddle, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*, 110-111. oldal.

152.o. „Sőt, minden évben újabb nagy adag CFC kerül a légkörbe”: Biddle, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*, 63. oldal.

152.o. „Két nemrég megjelent ismeretterjesztő könyvben, amelyek a Föld korának meghatározásával foglalkoznak, neve hibásan szerepel”: A könyvek a *Mysteries of Terra Firma (A szárazföld rejtélyei)* és a *The Dating Game (A kormeghatározási játék)*, amelyek mindketten a „Claire” nevet használják. (Amikor ez a megjegyzésem először megjelent, szigorú szemrehányásokat kaptam a második könyv írójától, Cherry Lewistól, aki elmondása szerint szándékosan használta a név fenti alakját, hiszen levelezést folytatott Patterson özvegyével, és ő is ezt a formát használta. A másik említett könyvön kívül egyetlen forrásban sem találkoztam a „Claire Patterson” névvel, még Patterson országos napilapokban megjelent nekrológjaiban sem – és végül is ezek voltak az utolsó szavak az emberről és a nevéről. Ennek ellenére örömmel elfogadom Cherry Lewis névválasztását, és elnézést kérek tőle, ha gondot okoztam neki.)

152.o. „...az írásból világosan kiderül, hogy azt hitte, Patterson nő volt”: *Nature*, „The Rocky Road to Dating the Earth” (A Föld korának megállapításához vezető rögös út), 2001. január 4., 20. oldal.

11. FEJEZET
Mark mester kvarkjai

153.o. „1911-ben egy C. T. R. Wilson nevű brit tudós...”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 325. oldal.

154.o. „...ha képes lennék megjegyezni minden részecske nevét, botanikusnak mentem volna”: Cropper, *Great Physicists (Nagy fizikusok)*, 403. oldal.

154.o. „...47 000 hétkilométeres kört tesz meg egy alagútban egy másodperc alatt”: *Discover*, „Gluons” (Glüonok), 2000. július, 68. oldal.

154 o. „Még az instabil részecskék leglomhábbika is...”: Guth, *A felfúvódó világegyetem*, 121. oldal.

154.o. „1998-ban japán megfigyelők bejelentették, hogy a neutrínóknak mégis van tömegük...”: *Economist*, „Heavy stuff” (Nehéz ügyek), 1998. június 13., 82. oldal, *National Geographic*, „Unveiling the Universe” (A világegyetem leleplezése), 1999.október, 36. oldal.

155.o. „Az atomok széthasítása könnyű...”: Trefil, *101 Things You Dont Know About Science and No One Else Does Either (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról, de más sem tudja)*, 48. oldal.

155.o. „A CERN új Nagy Hadronütköztetőjét 2005-ben fogják beüzemelni; energiaigénye 14 billió volt lesz”: *Economist*, „Cause for conCERN” (Ők az aggodalomra), 2000.október 28., 75. oldal.

156.o. „...lényegében egy hatalmas, üres mező, amelyet szomorú kisvároskák szegélyeznek...”: Jeff Guinn leveléből.

156.o. „A Dél-Dakota állambeli Lead Homestake nevű, elhagyott bányájában egy neutrínómegfigyelő állomást terveznek építeni”: Science, „U. S. Researchers Go for Scientific Gold Mine” (Az amerikai kutatók aranybányát találtak), 2001. június 15., 1979. oldal.

156.o. „Az illinoisi Fermilab részecskegyorsítónak csak a felújítása 260 millió dollárba került”: *Science*, „Troubled by Glitches, Tevatron Scramb-les to Retain Its Edge” (Üzemzavarok a Tevatron részecskegyorsítóban; küzdelem a fennmaradásért) 2002. február 8. 942. oldal

156.o. „Ma már jóval több mint 150-féle részecskét ismernek...”: Guth, *A felfúvódó világegyetem*, 120. oldal és Feynman, *Six Easy Pieces (Hat könnyed előadás)*, 39. oldal.

156.o. „Van, aki úgy gondolja, hogy léteznek tachion nevű részecskék...”: *Nature*, 2001. szeptember 27., 354. oldal.

156.o. „...a következő szinten maguk is világegyetemek, és így tovább, a végtelenségig...”: Sagan, *Cosmos (Kozmosz)*, 265-266. oldal.

156.o. „A töltéssel rendelkező pion és antipion mindketten lebomlanak...”: Weinberg, *The Discovery of Subatomic Particles (A szubatomos részecskék felfedezése)*, 163. oldal.

157.o. „...kicsit szervezettebben lehessen kezelni a rengeteg hadront...”: Weinberg, *The Discovery of Subatomic Particles (A szubatomos részecskék felfedezése)*, 165. oldal.

157.o. „...azt javasolta, hogy nevük *parton* legyen...”: Baeyer, *Taming theAtom (Az atom megszelídítése)*, 17. oldal.

157.o. „Végül mindebből kibontakozott az úgynevezett standard modell...”: *Economist*, „New Realities?” (Új valóságok?), 2000.október 7., 95. oldal, *Nature*, „The Mass Question” (A tömeg

kérdése), 2002. február 28., 969-970. oldal.

157.o. „A bozonok... erőt létrehozó és közvetítő részecskék...”: *Scientific American*, „Uncovering Supersymmetry” (A szuperszimmetria leleplezése), 2002. július, 74. oldal.

158.o. „Túl sok önkényes paramétere van”: Idézet a PBS 1985-ös, *Creation of the Universe (A világegyetem teremtése)* című videójából; kicsit más számokkal pedig: Ferris, *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)*, 298-299. oldal.

158.o. „...a képzeletbeli Higgs-bozont...”: a CERN honlapjáról, „The Mass Mystery” (a tömeg rejtélye), dátum nélkül.

158.o. „Itt van nekünk ez az elmélet...”: Feynman, *Six Easy Pieces (Hat könnyed előadás)*, 39. oldal.

158.o. „Eszerint az eddig részecskének tartott apróságok, például a kvarkok...”: *Science News*, 2001. szeptember, 185. oldal.

158.o. „...olyan kicsik, hogy könnyű őket pontszerű részecskének tekinteni”: Weinberg, *Dreams of a Final Theory (Álmok egy végső elméletről)*, 168. oldal.

158.o. „A heterotikus húr egy zárt húr, ami kétféleképpen rezeg...”: Kaku, *Hyperspace (Hipertér)*, 158. oldal.

159.o. „A szuperhúrelméletek később úgynevezett M-elméletté egyesültek...”: *Scientific American*, „The Universe’s Unseen Dimensions” (A világegyetem láthatatlan dimenziói), 2000. augusztus, 62-69. oldal, *Science News*, „When Branes Collide” (Amikor a bránok összeütköznek), 2001. szeptember 22., 184-185. oldal.

159.o. „Az ekpirotikus folyamat valamikor a meghatározhatatlan múltban kezdődött...”: *New York Times*, „Before the Big Bang, There Was... What?” (Egyszer volt, hol nem volt, az ősrobbanás előtt volt... mi is?), 2001. május 22., FI. oldal.

159.o. „...a nem tudósnak szinte lehetetlen megkülönböztetnie a tudományosan megalapozott furcsaságot a leplezetlen őrültségtől”: *Nature*, „Wormholes through physics” (Féreglyukak a fizikában), 2001. szeptember 27., 354. oldal.

159.o. „...a kérdés 2002 őszén került döntő stádiumba...”: a *New York Times* honlapjáról: „Are They a) Geniuses or b) Jokers?; French Physicists” Cosmic Theory Creates a Big Bang of Its Own” (Vajon a) zsenik vagy b) bohócok? A francia fizikusok kozmikus elmélete akkorát szólt, mint az ősrobbanás), 2002. november 9.; *Economist* „Publish and Perish” (írj cikket és tűnj el), 2002. november 16., 75. oldal.

159.o. „Karl Popper... egyszer felvetette, hogy lehet, hogy a fizikának nem is létezik nagy egyesített elmélete...”: Weinberg, *Dreams of a Final Theory (Álmok egy végső elméletről)*, 184. oldal.

159.o. „Eddig szerencsére még nem merítettük ki intellektuális erőforrásainkat”: Weinberg, *Dreams of a Final Theory (Álmok egy végső elméletről)*, 187. oldal.

160.o. „...Hubble kiszámította, hogy a világegyetem körülbelül kétmilliárd éves...”: *US News and World Report*, „How Old is The Uni-verse?” (Mi a világegyetem kora?), 1997. augusztus 25., 34. oldal.

160.o. „...a világegyetem kora valahol hétmilliárd és húszmilliárd év között van...”: Trefil, *101 Things You Dont Know About Science and No One Else Does Either (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról, de más sem tudja)*, 91. oldal.

160.o. „A következő években hosszú vita bontakozott ki...”: Overbye, *Lonely Hearts of the Cosmos (A kozmosz magányos szívei)*, 268. oldal.

161.o. „2003 februárjában a NASA...”: *New York Times*, „Cosmos Sits for Early Portrait, Gives up Secrets” (A kozmosz beleegyezett, hogy lefessék ifjúkorában, és elárulta egy-két titkát is), 2003. február 12., 1. oldal.

161.o. „...egész hegynyi elméletet építenek egy vakondtúrásnyi bizonyítékra...”: *Economist*, „Queerer than we can suppose” (Furcsább, mint gondolnánk), 2002. január 5., 58. oldal.

161.o. „...az adatok kis mennyiségének köszönhető, és nem az elméletek ragyogó mivoltának”: *National Geographic*, „Unveiling the Universe” (A világegyetem leleplezése), 1999.október, 25. oldal.

161.o. „...azt fejezi ki...”: Goldsmith, *The Astronomers (A csillagászok)*, 82. oldal.

162.o. „...hiányzik a világegyetem kétharmada a könyvelésből...”: *Economist*, „Dark for Dark Business” (Sötét ügyek a sötétben), 2002. január 5., 51. oldal.

162.o. „Valószínű, hogy az üres tér egyáltalán nem üres...”: PBS *Nova*, „Runaway Universe” (A szökött világegyetem), az első, 2002. január 5-én sugárzott adás forgatókönyvéből.

163.o. „...az egészet Einstein kozmológiai állandója fogja megoldani...”: *Economist*, „Dark for Dark Business” (Sötét ügyek a sötétben), 2002. január 5., 51. oldal.

12. FEJEZET
Megmozdul a Föld

164.o. „...szinte felszólítja az olvasót, hogy vele együtt jóindulatúan mosolyogja meg...”: Hapgood, *Earth's Shifting Crust (Az elmozduló földkéreg)*, 29. oldal.

166.o. „...kitaláltak mindenféle régen megszűnt földhidakat, ahol csak szükség volt rájuk”: Simpson, *Fossils and the History of Life (Az őskövületek és az élet története)*, 98. oldal.

166.o. „Voltak jelenségek, amelyeket még a földhidakkal sem lehetett megmagyarázni”: Gould, *Ever since Darwin: (Darwintól fogva)*, 163. oldal.

167.o. „...tele van »rengeteg elméleti problémával«„: *Encyclopaedia Britannica*, 6. kötet, 418. oldal.

167.o. „...azon bosszankodott, hogy a diákok könnyen el fogják hinni”: Lewis, *The Dating Game (A kormeghatározási játék)*, 182. oldal.

167.o. „...szavazáson kiderült, hogy a jelenlévőknek körülbelül a fele elfogadja az új elméletet”: Hapgood, *Earth's Shifting Crust (Az elmozduló földkéreg)*, 31. oldal.

167.o. „...fantasztikus elképzelés...”: Powell, *Mysteries of Terra Firma (A szárazföld rejtélyei)*, 147. oldal.

168.o. „Érdekes, hogy az olajtársaságok geológusai ekkor már évek óta tudták...”: McPhee, *Basin and Range (Medence és hegylánc)*, 175. oldal.

168.o. „A hajó felszereléséhez tartozott egy elsőrangú új visszhangos mélységmérő...”: McPhee, *Basin and Range (Medence és hegylánc)*, 187. oldal.

168.o. „...heggyel, amelyeket *guyotok*nak nevezett el egy korábbi princetoni geológus, Arnold Guyot után”: Harrington, *Dance of the Continents (A földrészek tánca)*, 208. oldal.

170.o. „...valószínűleg ez volt a földtudományokról valaha írt legfontosabb dolgozat, amelyet visszautasítottak”: Powell, *Mysteries of Terra Firma (A szárazföld rejtélyei)*, 131-132. oldal.

171.o. „„: Powell, *Mysteries of Terra Firma (A szárazföld rejtélyei)*, 141. oldal.

171.o. „...nyolc geológus közül egy még mindig nem hisz a lemeztektonikában”: McPhee, *Basin and Range (Medence és hegylánc)*, 198. oldal.

171.o. „Ma már tudjuk, hogy a Föld felszíne 8-12 darab nagy és körülbelül húsz kisebb kőzetlemezből áll...”: Simpson, *Fossils and the History of Life (Az őskövületek és az élet története)*, 113. oldal.

171.o. „A földrészek mai és régi elhelyezkedése között sokkal bonyolultabb kapcsolatok állnak fenn, mint bárki képzelte volna”: McPhee, *Assembling California (Rakjuk ki Kaliforniát!)*, 202-208. oldal.

172.o. „...olyan sebességgel távolodnak egymástól, ahogyan a körmünk nő...”: Vogel, *Naked Earth (A meztelen Föld)*, 19. oldal.

172.o. „...milyen volt a Föld élettartama egy százalékának egytizedében”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 44. oldal.

172.o. „...a lemeztektonika fontos ahhoz, hogy egy bolygón élet alakuljon ki”: Trefil, *Meditations at 10,000 Feet: (Tűnődések 10 000 láb magasságban)*, 181. oldal.

172.o. „...kapcsolat lehet a kőzetek és az élet története között”: *Science*, „Inconstant Ancient Seas

and Life's path" (Változó ősi tengerek és az élet útja), 2002. november 8., 1165. oldal.

173.o. „...átlátták az egész Föld működését...": McPhee, *Rising from the Plains (Felemelkedés a síkságról)*, 158. oldal.

173.o. „...valahogy mindig ott bukkannak fel, ahol nem kellene, és soha nem találhatók ott, ahol számítanánk rájuk": Simpson, *Fossils and the History of Life (Az őskövületek és az élet története)*, 115. oldal.

173.o. „Sok felszíni jelenség is van, amint nem lehet a tektonikával magyarázni": *Scientific American*, „Sculpting the Earth from Insi-de Out" (A Föld formázása belülről kifelé), 2001. március.

174.o. „Alfred Wegener nem élte meg elméletének elismerését": Kunzig, *The Restless Sea (A nyugtalan tenger)*, 51. oldal.

174.o. „Egyik diákja, a kiváló Walter Alvarez...": Powell, *Night Comes to the Cretaceous (A kréta kor alkonya)*, 7. oldal.

13. FEJEZET
Bumm!

177.o. „1912-ben egy városi kutat fúrtak, és a kútásó furcsán elformátlanodott köveket hozott a felszínre...”: Raymond R. Anderson, Geological Society of America 302-es különleges cikke: „The Manson Impact Structure: A Late Cretoceous Meteor Crater in the Iowa Subsurface” (A Manson-becsapódás szerkezete: Késő kréta kori meteorkráter Iowa felszíne alatt). 1996 tavasza.

178.o. „Szinte az egész város kint állt a főutca végén...”: *des Moines Register*, 1979. június 30.

178.o. „Néha idetéved néhány érdeklődő, aki a krátert keresi...”: Beszélgetés Schlapkohllal, Iowa, Manson, 2001. június 18.

179.o. „A leghíresebb kutató, G. K. Gilbert, a Columbia Egyetem professzora...”: Lewis, *Rain of Iron and Ice (Vas- és jégeső)*, 38. oldal.

179.o. „...kísérleteit nem az egyetemi laboratóriumban végezte, hanem egy szállodai szobában”: Powell, *Night Comes to the Cretaceous (A kréta kor alkonya)*, 38. oldal.

179.o. „Amikor elkezdtük, alig egy tucat ilyen ismert objektumot figyeltek meg”: a „New Asteroid Danger” (Új veszély a kisbolygók felől) című BBC *Horizon* dokumentumfilm forgatókönyvéből; első adás: 1999. március 18.

180.o. „Aszteroidáknak nevezte el őket – ez a latin szó annyit jelent, »csillagszerű«...”: *Science News*, „A Rocky Bicentennial” (Kétszáz éves évforduló kövekkel), 2001. július 28., 61-3. oldal.

180.o. „...végül 2000-ben, nyolcvankilenc év után találták meg ismét”: Ferris, *Seeing in the Dark (Sötétben látók)*, 150. oldal.

181.o. „2001 júliusáig körülbelül 26 000 kisbolygót találtak és azonosítottak”: *Science News*, „A Rocky Bicentennial” (Kétszáz éves évforduló kövekkel), 2001. július 28., 61-63. oldal.

181.o. „...óránkénti 100 000 kilométeres sebességgel száguldunk”: Ferris, *Seeing in the Dark (Sötétben látók)*, 147. oldal.

181.o. „...amelyek közül bármelyik összeütközhet a Földdel, és amelyek mind más pályán, más sebességgel szelik át az égboltot”: a „New Asteroid Danger” (Új veszély a kisbolygók felől) című BBC *Horizon* dokumentumfilm forgatókönyvéből; első adás: 1999. március 18.

181.o. „...hetente kétszer-háromszor is megtörténhet, hogy valami ilyen közel halad el a Föld mellett...”: *New Yorker*, „Is This the End?” (Itt a vég?), 1997. január 27., 44-52. oldal.

183.o. „A Földre minden évben körülbelül 30 000 tonna »kozmikus gömböcske«, azaz űrpor rakódik le...”: Vernon, *Beneath our Feet (A lábunk alatt)*, 191. oldal.

183.o. „Nagyon kedvesek voltak, és nagyon gyorsan meggyőztek”: telefonbeszélgetés Asaróval, 2002. március 10.

184.o. „A Northwestern Egyetem egyik asztrofizikusa, Ralph B. Baldwin már 1942-ben felvetette a lehetőséget a *Popular Astronomy* folyóiratnak írt cikkében”: Powell, *Mysteries of Terra Firma (A szárazföld rejtélyei)*, 184. oldal.

184.o. „1956-ban M. W. de Laubenfels, az Oregoni Állami Egyetem professzora...”: Peebles, *Asteroids (A kisbolygók története)*, 170. oldal.

184.o. „...lehetséges, hogy egy földön kívüli test becsapódása okozta a frasni kihalásnak nevezett

eseményt”: Lewis, *Rain of Iron and Ice (Vas- és jégeső)*, 38. oldal.

185.o. „Inkább a bélyeggyűjtőkhöz hasonlítanám őket”: Officer és Page idézik *Tales of the Earth (Mesék a Földről)* című könyvük 142. oldalán.

185.o. „...egyszer már beismerte egy újság riporterének, hogy nincsen rá bizonyítéka”: *Boston Globe* „Dinosaur ExtinctionTheory Backed” (Bizonyíték a dinoszauruszok kihalásának elméletére), 1985. december 16.

185.o. „...a dinoszauruszok kihalásának semmi köze egy égitest becsapódásához”: Peebles, *Asteroids (A kisbolygók története)*, 175. oldal.

185.o. „...munkaideje nagy részét valószínűleg a trágyakezelési tervek kiértékelése töltené ki...”: az Iowai Természeti Erőforrások Hivatala kiadványa, az *Iowa Geology*, 1999. 4. szám.

186.o. „Hirtelen főszereplők lettünk”: Beszélgetés Anderson és Witzke geológusokkal, Iowa City, 2001. június 15.

187.o. „Egy ilyen emlékezetes pillanat volt az Amerikai Geofizikai Egyesület 1985-ös ülése...”: *Boston Globe* „Dinosaur Extinction Theory Backed” (Bizonyíték a dinoszauruszok kihalásának elméletére), 1985. december 16.

187.o. „A képződményt a Pemex mexikói olajtársaság munkatársai találták 1952-ben...”: Peebles, *Asteroids (A kisbolygók története)*, 177-178. oldal, *Washington Post*, „Incoming” (Bejövő), 1998. április 19.

187.o. „Emlékszem, hogy eleinte erősen kételkedtem egy ilyen esemény hatóerejében...”: Gould, *Dinosaur in a Haystack: (Dinoszaurusz a szénakazalban)*, 162. oldal.

188.o. „...a Jupiter egyenként le fogja nyelni ezeket az üstökösöket, és még csak emésztési zavarokat sem fognak neki okozni”: Peebles idézi *Asteroids (A kisbolygók története)* című könyvének 196. oldalán.

188.o. „Az egyik darab, a Nucleus G körülbelül hatmillió megatonna...:”: Peebles, *Asteroids (A kisbolygók története)*, 202. oldal.

188.o. „Shoemaker azonnal meghalt, a felesége megsebesült”: Peebles, *Asteroids (A kisbolygók története)*, 204 oldal.

190.o. „...minden, ami állt, a földbe döngölődik vagy lángokban áll, és majdnem minden élőlény halott”: Anderson, az Iowai Természeti Erőforrások Hivatala kiadványában, az *Iowa Geology* 1999/4-es számában: „Iowa’s Manson Impact Structure” (Az iowai Manson-becsapódás szerkezete), 9. oldal.

190.o. „...a menekülés csak »lassú halál lenne a gyors helyett«: Lewis, *Rain of Iron and Ice (Vas- és jégeső)*, 209. oldal.

190.o. „...az utóbbi KT becsapódáskor keletkezett üledékben talált héliumizotópok vizsgálata alapján...”: *Arizona Republic*, „Impact Theory Gains New Supporters’, 2001. március 3.

190.o. „Először vegyük John S. Lewis megjegyzését. Fegyvereinket nem űrbéli használatra tervezték”: Lewis, *Rain of Iron and Ice (Vas- és jégeső)*, 215. oldal.

191.o. „Tom Gehrels... úgy gondolja, hogy akár egyéves előrelátás is kevés lenne”: *New York Times* magazin, „The Asteroids Are Coming! The Asteroids Are Coming!” (Jönnek a kisbolygók!), 1996. július 28., 17-19. oldal.

191.o. „A Shoemaker-Levy-9 1929 óta keringett tisztán láthatóan a Jupiter körül, de több mint egy fél évszázad kellett ahhoz, hogy valaki egyáltalán észrevegye”: Ferris, *Seeing in the Dark (Sötétben látók)*, 168. oldal.

14. FEJEZET
Talpunk alatt lángol a tűz

194.o. „Butaság lett volna éppen itt csontokat keresni”: Beszélgetés Mike Voorhiesszel, a nebraskai Ashfall Fossil Beds State Park munkatársával, 2001. június 13.

194.o. „Először azt hitték, hogy az állatok még életben voltak, amikor a következő réteg rájuk került...”: *National Geographic*, „Ancient Ashfall Creates Pompeii of Prehistoric Animals” (A hulló hamu lett az ősállatok Pompejije), 1981. január, 66. oldal.

195.o. „Akármilyen furcsán hangzik, jobban ismerjük a Nap belsejének összetételét, mint saját bolygónkét”: Feynman, *Six Easy Pieces (Hat könnyed előadás)*, 90. oldal.

195.o. „A Föld felszíne 6370 kilométerre van a középpontjától...”: Williams és Montaigne, A Galeras kitörése (Surviving Galeras), az eredeti műben: 78. oldal.

196.o. „...a skálára szerénységből soha nem a saját nevével hivatkozott; egyszerűen nagyságrendi skálának hívta”: Ozima, The Earth (A Föld), 49. oldal.

196.o. „A skála exponenciális...”: Officer és Page, Tales ofthe Earth (Mesék a Földről), 33. oldal.

197.o. „...hatvanezer halott...”: Officer és Page, Tales of the Earth (Mesék a Földről), 52. oldal.

198.o. „...csak arra vár, mikor jön el a megsemmisülés...”: McGuire, *A Guide to the End of the World: (Útikalauz a világvégéhez)*, 21. oldal.

198.o. „...az anyagi kár elérheti a hétbillió dollárt”: McGuire, *A Guide to the End of the World: (Útikalauz a világvégéhez)*, 130. oldal.

199.o. „...a washingtoni Capitolium állványzatát is összedöntötte”: Trefil, *101 Things You Dont Know About Science and No One Else Does Either (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról, de más sem tudja)*, 158. oldal.

199.o. „Nem lehetett elkerülni, hogy a vállalkozást Mohole-ként emlegessék”: Vogel, *Naked Earth (A meztelen Föld)*, 19. oldal.

199.o. „...lyukat fúrni... egy szál spagetti segítségével...”: *Valley News*, „Drilling the Ocean Floor for Earth’s Deep Secrets” (Az óceánfenék átfúrásával kutatják a Föld mélyének titkait), 1995. augusztus 21.

200.o. „Ami keveset a földköpenyről tudunk, az a kimberlitkürtőknek köszönhető”: McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 16-18. oldal.

201.o. „Úgy hisszük, az alattunk lévő világ négy rétegből áll...”: *Scientific American*, „Sculpting the Earth from Inside Out” (A Föld formázása belülről kifelé), 2001. március, 40-47. oldal és *New Scientist*, „Journey to the Centre of the Earth” (Utazás a Föld középpontjába), 2000.október 1-jei melléklet, 1. oldal.

201.o. „A geofizika összes törvénye szerint...”: *Earth*, „Mystery in the High Sierra” (Rejtély a Sierra hegység tetején), 1996. június, 16. oldal.

202.o. „A kőzet folyékony, de csak annyira, mint az üveg”: Vogel, *Naked Earth (A meztelen Föld)*, 31. oldal.

202.o. „A mozgások nem csak vízszintes irányúak...”: *Science*, „Much About Motion in the Mantle” (Sok minden a köpenyben folyó mozgásról), 2002. február 1., 982. oldal.

202.o. „...egy Osmond Fisher nevű angol lelkész korát megelőzve felvetette...”: Tudge, *The Time Before History (A történelem előtti idők)*, 43. oldal.

202.o. „...van egy szélnek nevezett jelenség”: Vogel, *Naked Earth (A meztelen Föld)*, 53. oldal.

203.o. „...a két különböző tudományág két különböző adathalmazzal dolgozik...”: Trefil, *101 Things You Dont Know About Science and No One Else Does Either (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról, de más sem tudja)*, 146. oldal.

203.o. „...a Föld térfogatának 82%-a, tömegének pedig a 65%-a...”: *Nature*, „The Earth’s Mantle” (A földköpeny), 2001. augusztus 2., 501-506. oldal.

203.o. „...a felszíninek mintegy hárommilliószorosa...”: Drury, *Stepping Stones (Lépcsőfokok: Világunk elkészítése)*, 50. oldal.

204.o. „...a dinoszauruszok korában majdnem háromszor akkora volt, mint ma”: *New Scientist*, „Dynamo Support” (A dinamóelmélet újabb támogatója), 2001. március 10., 27. oldal.

204.o. „...a leghosszabb ilyen időszak, amiről tudomásunk van, 37 millió évig tartott...”: *New Scientist*, „Dynamo Support” (A dinamóelmélet újabb támogatója), 2001. március 10., 27. oldal.

204.o. „...a geológia legnagyobb megválaszolatlan kérdésének”: Trefil, *101 Things You Dont Know About Science and No One Else Does Either (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról, de más sem tudja)*, 150. oldal.

204.o. „A geológusok és a geofizikusok ritkán vesznek részt ugyanazokon az előadásokon...”: Vogel, *Naked Earth (A meztelen Föld)*, 139. oldal.

205.o. „A földrengéskutatók határozott véleménye volt, hogy ez a tűzhányó ugyanúgy működik...”: Fisher és mások, *Volcanoes (Vulkánok)*, 24. oldal.

205.o. „Ez volt az emberiség történetének legnagyobb földcsuszamlása...”: Thompson, *Volcano Cowboys (Vulkánlovagok)*, 118. oldal.

205.o. „...hirosimai méretű atombomba erejével robbant fel...”: Williams és Montaigne, *A Galeras kitörése: egy kutató a vulkánokról és megmenekülésének történetéről (Surviving Galeras)*, 7. oldal.

205.o. „...ötvenheten pedig meg is haltak”: Fisher és mások, *Volcanoes (Vulkánok)*, 12. oldal.

206.o. „...csodálkozva csóválta a fejét...”: Williams és Montaigne, *A Galeras kitörése: egy kutató a vulkánokról és megmenekülésének történetéről (Surviving Galeras)*, 151. oldal.

206.o. „...utasszállító repülőgépet is kövek verdesték”: Thompson, *Volcano Cowboys (Vulkánlovagok)*, 123. oldal.

206.o. „Yakimában ennek ellenére nem készítettek tervet vulkánkitörés esetére”: Fisher és mások, *Volcanoes (Vulkánok)*, 16. oldal.

15. FEJEZET
Veszélyes szépség

207.o. „1943-ban a mexikói Parícutinban egy farmer...”: Smith, *The Weather (Az időjárás)*, 112. oldal.

208.o. „...senki nem maradna meg a vulkán ezer kilométeres környezetében...”: a BBC *Horizon* című sorozatának „Crater of Death” (Halálkráter) című adása; első sugárzás: 2001. május 6.

209.o. „...a robbanás kilenc napon át visszhangzott az egész Földön...”: Lewis, *Rain of lron and Ice (Vas- és jégeső)*, 152. oldal.

210.o. „A Földön az utolsó szupervulkán-kitörés Szumátra déli részén, Tobában történt...”: McGuire, *A Guide to the End of the World: (Útikalauz a világvégéhez)*, 104. oldal.

210.o. „És olyan elmélet is van, hogy a következő húszezer évben soha nem élt egyszerre több mint pár ezer ember a Földön”: McGuire, *A Guide to the End of the World: (Útikalauz a világvégéhez)*, 107. oldal.

211.o. „Lehet, hogy nem úgy néz ki, de a világ legnagyobb működő vulkánján állunk...”: Beszélgetés Paul Doss-sal a wyomingi Yellowstone Nemzeti Parkban, 2001. június 16.

213.o. „Ennek borzasztó jele mutatkozott meg 1959. augusztus 17-én, a park közelében lévő Hebgen-tónál”: Smith és Siegel, *Windows into the Earth (Ablakok a Föld mélyébe)*, 5-6. oldal.

216.o. „...ideális esetben mindössze egyetlen molekulából”: Sykes, *Éva hét leánya (The Seven Daughters of Eve)* (az eredeti műben: 12. oldal).

216.o. „Azóta már ennél is szívósabb mikrobákat, hipertermofileket is ismerünk, ...”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 275. oldal.

217.o. „Jay Bergstralh, a NASA tudósa ezt így fogalmazta...”: a PBC *NewsHour* című műsorának forgatókönyve, 2002. augusztus 20.

16. FEJEZET
A magányos bolygó

221.o. „...a világ lakható részének 99,5 térfogatszázaléka...”: *New York Times* Book Review, „Where Leviathan Lives” (Ahol a tengeri szörnyei), 1997. április 20., 9. oldal.

221.o. „...a víz 1300-szor nehezebb a levegőnél...”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 51. oldal.

221.o. „...ereink összepréselődésének, tüdőnk pedig italosdoboz méretűre zsugorodna”: *New Scientist*, „Into the Abyss” (A mélységbe), 2001. március 31.

222.o. „...akkora nyomás nehezedik az ott élőkre, mintha tizennégy betonkeverő autót halmoznának rájuk”: *New Yorker*, „The Pictures” (A képek), 2000. február 15., 47. oldal.

222.o. „Mivel magunk is főként vízből vagyunk...”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 68. oldal.

222.o. „...az ember jobban hasonlít a bálnára és a delfinre, mint gondoltuk volna”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 69. oldal.

222.o. „...a ruhában csak csontok és néhány húscafat maradt...”: Haldane, *What is Life? (Mi az élet?)*, 188. oldal.

223.o. „Ashcroft a Temze egyik új alagútjának építésvezetőiről mesél, akik bankettel ünnepelték...”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 59. oldal.

224.o. „Amikor felkeltették, Haldane elmondta, hogy egyszer csak azon vette észre magát, hogy vetkőzik, feltételezte hát, hogy itt a lefekvés ideje”: Norton, *Stars beneath the Sea (Tengeralatti csillagok)*, 111. oldal.

224.o. „Haldane azzal segítette elő a búvárkodás fejlődését, hogy kidolgozta, mekkora pihenőidőket kell beiktatni a búvároknak a felszínre jutás közben, hogy ne kapjanak keszonbetegséget...”: Haldane, *What is Life? (Mi az élet?)*, 202. oldal.

224.o. „...a vér telítettségi foka 56%-nál járt...”: Norton, *Stars beneath the Sea (Tenger alatti csillagok)*, 105. oldal.

224.o. „De akkor ez most oxihemoglobin vagy karboxihemoglobin?”: Norton, *Stars beneath the Sea (Tenger alatti csillagok)*, 121. oldal.

225.o. „...a legokosabbnak tartotta ismerősei között...”: Gould, *The Lying Stones of Marrakech: Reflections in Natural History (Marrakech hazudós kövei)*, 305. oldal.

225.o. „...az ifjabb Haldane volt az egyetlen, aki az első világháborút »nagyon élvezetes élménynek« tartotta...”: Norton, *Stars beneath the Sea (Tenger alatti csillagok)*, 124. oldal.

225.o. „Szinte minden kísérlet úgy végződött, hogy valaki rohamot kapott, vérzett vagy hányt”: Norton, *Stars beneath the Sea (Tenger alatti csillagok)*, 133. oldal.

226.o. „A kísérleti alanyok dobhártyája is gyakran kilyukadt...”: Haldane, *What is Life? (Mi az élet?)*, 192. oldal.

226.o. „...hat éven keresztül nem érezte sem az ülepét, sem a gerince alsó szakaszát”: Haldane, *What is Life? (Mi az élet?)*, 202. oldal.

226.o. „...szélsőséges kedélyhullámzást is okozhat”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 78. oldal.

226.o. „...a vizsgáztató éppen olyan mámoros volt, mint a vizsgázó...”: Haldane, *What is Life? (Mi*

az élet?), 197. oldal.

226.o. „Az említett megmámorosodás oka még ma sem tisztázott”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 79. oldal.

227.o. „A felhasznált energia fele még kevésbé hideg időben is hőtermelésre megy el”: Attenborough, *Az élő bolygó (The Living Planet)*, az eredeti műben: 39. oldal.

227.o. „...az összes szárazföldnek még így is mindössze 12%-án szeretünk vagy tudunk élni...”: Smith, *The Weather (Az időjárás)*, 40. oldal.

227.o. „Ha a Napunk tízszer ekkora tömegű lenne, a jelenleg becsült tízmilliárd helyett tízmillió év alatt kialudt volna”: Ferris, *The Whole Shebang (A világmindenség)*, 81. oldal.

228.o. „A Nap melege két perccel hamarabb éri el a Vénuszt, mint a Földet”: Grinspoon, *Venus Revealed (A Vénusz leleplezett titkai)*, 9. oldal.

228.o. „Valószínű, hogy a Naprendszer korábbi állapotában a Vénusz csak kicsit volt melegebb a Földnél...”: *National Geographic*, „The Planets” (A bolygók), 1985. január, 40. oldal.

228.o. „...a légköri nyomás pedig a földi 90-szerese...”: McSween, *Stardust to Planets (A csillagportól a bolygókig)*, 200. oldal.

229.o. „A Hold évente 4 centiméterrel távolodik tőlünk”: Ward és Brownlee, *Rare Earth (A Föld, mint ritkaság)*, 33. oldal.

230.o. „De a legmegfoghatatlanabb elem mindenképpen a francium...”: Atkins, *The Periodic Kingdom (A periódusos királyság)*, 28. oldal.

231.o. „...a földkéregnek is csak a 0,048%-a...”: Krebs, *The History and Use of our Earth's Chemical Elements (Földünk vegyi elemeinek története és felhasználása)*, 148. oldal.

231.o. „...az élethez azonban elengedhetetlenül szükséges”: Davies, *The Fifth Miracle (Az ötödik csoda)*, 126. oldal.

231.o. „Testünk minden 200 atomjából 126 hidrogén, 51 oxigén és csak 19 szén”: Snyder, *The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things (A közönséges dolgok rendkívüli összetétele)*, 24. oldal.

232.o. „Abból, hogy melyik élőlény mennyire igényli vagy tűri az egyes elemeket, következtethetünk annak fejlődéstörténetére”: Parker, *Inscrutable Earth: Explorations in the Science of Earth (A kifürkészhetetlen Föld: Geológiai kutatások)*, 100. oldal.

232.o. „Ha egy kis tiszta nátriumot közönséges vízbe teszünk, az gyilkos erővel felrobban”: Snyder, *The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things (A közönséges dolgok rendkívüli összetétele)*, 42. oldal.

233.o. „A rómaiak ólommal ízesítették a bort...”: Parker, *Inscrutable Earth: Explorations in the Science of Earth (A kifürkészhetetlen Föld: Geológiai kutatások)*, 103. oldal.

234.o. „Richard Feynman fizikus ki szokta gúnyolni...”: Feynman, *Six Easy Pieces (Hat könnyed előadás)*, xix. oldal.

17. FEJEZET
Fel a felhőövbe!

235.o. „Nélküle a Föld... élettelen jéggolyó lenne”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 7. oldal.

236.o. „1902-ben fedezte fel egy hőlégballonon utazó francia, Léon-Philippe Teisserenc de Bort”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 56. oldal, *Nature*, „1902 and All That” (1902 és minden más), 2002. január 3., 15. oldal.

236.o. „...ugyanarról a görög szótőről van szó, ami a menopauza szóban szerepel”: Smith, *The Weather (Az időjárás)*, 52. oldal.

236.o. „...legalábbis súlyos agy- és tüdőödémát okozna...”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 7. oldal.

236.o. „Tíz kilométerrel feljebb a hőmérséklet körülbelül – 57° C...”: Smith, *The Weather (Az időjárás)*, 25. oldal.

236.o. „...a centiméter nyolcmilliomodát...”: Allen, *Atmosphere (Légkör)*, 58. oldal.

236.o. „Ha viszont túl lapos szögben lép a termoszférába, visszapattahat az űrbe...”: Allen, *Atmosphere (Légkör)*, 57. oldal.

237.o. „...Dickinson... leírja, hogy... Howard Somervell hogyan kezdett el »fuldokolni, miután egy darab fertőzött hús leszakadt és elzárta légcsövét«„: Dickinson, *The Other Side of Everest (A Mount Everest másik arca)*, 86. oldal.

237.o. „Folyamatosan élni legfeljebb 5500 méteres magasságban lehet...”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 8. oldal.

237.o. „5500 méter felett pedig még a magassághoz egyébként már hozzászokott nők sem tudják végig kihordani a magzatjukat, mert nem tudják őt elég oxigénnel ellátni”: Attenborough, *Az élő bolygó (The Living Planet)*, az eredeti műben: 18. oldal.

238.o. „...az éjszaka folyamán majdnem féltonnányi anyagot rakodtak ránk...”: Hamilton-Paterson, idézi *The Great Deep (A nagy mélység)* című könyv 177. oldalán.

238.o. „...egy átlagos időjárási front esetében 750 millió tonna hideg levegő szorul be több milliárd tonna melegebb levegő alá”: Smith, *The Weather (Az időjárás)*, 50. oldal.

238.o. „...egyetlen zivatarban annyi energia koncentrálódik, amennyi négy napig elegendő lenne az egész Egyesült Államok számára”: Junger, *Viharzóna (The Perfect Storm)*, az eredeti műben: 102. oldal.

239. o. „A bolygót minden pillanatban 1800 zivatar támadja...”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 55. oldal.

239.o. „Amit az odafönn végbemenő folyamatokról tudunk, azt nem régen tudjuk”: Biddle, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*, 161. oldal.

240.o. „...egy óránként 300 kilométeres sebességgel fújó szél nem tízszer olyan erős, mint egy 30 km/h sebességű, hanem százszor...”: Bodanis, $E = mc^2$, 68. oldal.

240.o. „...amennyit egy gazdag, közepes méretű ország... egy év alatt felhasznál”: Ball, H_2O, 51. oldal.

240.o. „Azt, hogy a légkör nyugalomba akar kerülni... először Edmond Halley sejtette meg...”: *Science*, „The Ascent of Atmospheric Sciences” (A légkörrel foglalkozó tudományok felemelke-

dése), 2000.október 13., 300. oldal.

241.o. „Az egyetem másért is hálás neki: ő vezette be a hűtött vizű ivó-kutakat, amelyeket azóta is coriónak neveznek”: Trefil, *The Unexpected Vista (A váratlan távlat)*, 24. oldal.

241.o. „...ettől kacskaringósak időjárási rendszereink, és ettől pördülnek meg búgócsigaként a hurrikánok”: Drury, *Stepping Stones (Lépcsőfokok: Világunk elkészítése)*, 25. oldal.

242.o. „...(Celsius) a fagyáspontot száznak, a forráspontot nullának jelölte ki...”: Trefil, *The Unexpected Vista (A váratlan távlat)*, 107. oldal.

242.o. „(Howard) Legemlékezetesebb tette, hogy 1803-ban elnevezte a különböző felhőtípusokat”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 10. kötet, 51-52. oldal.

242.o. „Azóta sokat bővítettek Howard rendszerén...”: Trefil, *Meditations at Sunset (Alkonyati elmélkedések)*, 62. oldal.

243.o. „Valószínűleg ezért mondja az angol, hogy »a kilencedik felhőn van«...”: Hamblyn, *The Invention of Clouds (A felhők feltalálása)*, 252. oldal.

243.o. „A több száz méteres, bolyhos nyári gomolyfelhők mindössze 100-150 liter vizet tartalmaznak...”: Trefil, *Meditations at Sunset (Alkonyati elmélkedések)*, 66. oldal.

243.o. „A Föld édesvízkészletének csak 0,035%-a van az égen, felhők formájában”: Ball, H_2O, 57. oldal.

243.o. „A lehulló vízmolekulák sorsa sokféle lehet”: Dennis, *The Bird in the Waterfall (Madár a vízesésben)*, 8. oldal.

243.o. „Még a Földközi-tenger is kiszáradna ezer év alatt, ha nem kapna folyamatos utánpótlást”: Gribbin és Gribbin, *Being Human (Embernek lenni)*, 123. oldal.

243.o. „Ez egyszer meg is történt, kevesebb mint 6 millió éve...”: *New Scientist*, „Vanished” (Eltűnt), 1999. augusztus 7.

244.o. „...amennyi a világ tízévi széntermelésének elégetésével lenne nyerhető...”: Trefil, *Meditations at 10,000 Feet: (Tűnődések 10 000 láb magasságban)*, 122. oldal.

244.o. „...ezért érezzük úgy, hogy az évszakok kicsit késnek hivatalos, csillagászati kezdetükhöz képest”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 111. oldal.

245.o. „Jó kérdés, hogy vajon honnan tudni, mennyi idő alatt kerül egy vízcsepp az egyik óceánból a másikba”: *National Geographic*, „New Eyes on the Oceans” (Az óceánok friss szemmel), 2000.október, 101. oldal.

245.o. „A Föld kőzeteiben körülbelül húszezerszer annyi szén van, mint a légkörben”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárásváltozás)*, 7. oldal.

246.o. „...a légkör »természetes«... szén-dioxid-tartalma...”: *Science*, „The Ascent of Atmospheric Sciences” (A légkörrel foglalkozó tudományok felemelkedése), 2000.október 13., 303. oldal.

18. fejezet
A tenger hullámai

247.o. „Képzeljük el, hogy olyan világban próbálunk élni, amelynek uralkodó vegyülete a dihidrogén-oxid...”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 100. oldal.

247.o. „Egy krumpli 80%-a víz, egy tehénnek a 74%-a, egy baktériumnak a 75%-a”: Schopf, *Cradle of Life (Az élet bölcsője)*, 107. oldal.

247.o. „Szinte egyik tulajdonsága alapján sem vonhatunk le megbízható következtetéseket más folyadékok tulajdonságairól...”: Gribbin, *In the Beginning: (Kezdetben)*, 18. oldal.

248.o. „Mire megfagy, majdnem 10%-kal nagyobb lesz a térfogata!”: Trefil, *Meditations at 10,000 Feet: (Tűnődések 10 000 láb magasságban)*, 181. oldal.

248.o. „...teljesen bizarr jelenség...”: Gribbin, *In the Beginning: (Kezdetben)*, 174. oldal.

248.o. „...majd továbbáll, mintha francia négyest táncolnának...”: Kunzig, *The Restless Sea (A nyugtalan tenger)*, 8. oldal.

248.o. „Minden pillanatban körülbelül 15%-uk áll párban”: Dennis, *The Bird in the Waterfall (Madár a vízesésben)*, 152. oldal.

248.o. „...eltűnik az ajak, mintha egy sebész eltávolította volna, a fogíny megfeketedik, az orr hossza a felére zsugorodik, és a bőr annyira összehúzódik a szem körül, hogy a pislantás lehetetlenné válik...”: *Economist*, 2000. május 13., 4. oldal.

249.o. „Egy átlagos sótartalmú tengervízben literenként csak 2,5 teáskanál konyhasó van...”: Dennis, *The Bird in the Waterfall (Madár a vízesésben)*, 248. oldal.

249.o. „...tengervizet izzadunk és sírunk”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 184. oldal.

249.o. „A Földön 1,3 milliárd köbkilométer víz van, és ennél soha nem is lesz több”: Green, *Water, Ice and Stone (Víz, jég és kő)*, 25. oldal.

249.o. „3,8 milliárd éve az óceánok már körülbelül ugyanakkorák voltak, mint ma”: Ward és Brownlee, *Rare Earth (A Föld, mint ritkaság)*, 360. oldal.

249.o. „...tengervíz, ennek a nagyobbik része a Csendes-óceánban van...”: Dennis, *The Bird in the Waterfall (Madár a vízesésben)*, 226. oldal.

249.o. „...csoda, hogy bolygónk neve Föld és nem Víz”: Ball, H_2O, 21. oldal.

249.o. „A Föld 3%-nyi édesvízkészletének...”: Dennis, *The Bird in the Waterfall (Madár a vízesésben)*, 8. oldal, *Scientific American*, „On Thin Ice”, 2002. december, 100-105. oldal.

249.o. „A Déli-sarkot 3 kilométer vastag jégpáncél fedi, az Északit csak 4,5 méter”: Smith, *The Weather (Az időjárás)*, 62. oldal.

250.o. „...ha megolvadna, az óceánok vízszintjét 60 méterrel emelné meg”: Schultz, *Ice Age Lost (Az elveszett jégkorszak)*, 75. oldal.

250.o. „...őrületbe kergette őket az évekig tartó kotrás elmetompító monotóniája...”: Weinberg, *A Fish Caught in Time (Egy időtlen hal)*, 34. oldal.

250.o. „De közben majdnem 70 000 tengeri mérföldet tettek meg”: Hamilton-Paterson, *The Great Deep (A nagy mélység)*, 178. oldal.

251.o. „...vonzó asszisztensnői társaságában, akik a munkaköri leírásuk szerint »történészek és

technikusok« vagy »halprobléma-megoldók« voltak”: Norton, *Stars beneath the Sea (Tenger alatti csillagok)*, 57. oldal.

251.o. „Hamarosan csatlakozott hozzá Barton, egy még gazdagabb család sarja...”: Ballard, *The Eternal Darkness (Az örök sötétség)*, 14-15. oldal.

251.o. „Nem lehetett irányítani... levegőcserélő rendszere pedig a lehető legegyszerűbb volt...”: Weinberg, *A Fish Caught in Time (Egy időtlen hal)*, 158. oldal, Ballard, *The Eternal Darkness (Az örök sötétség)*, 17. oldal.

252.o. „Akármi volt is, azóta sem látott senki ehhez hasonlót”: Weinberg, *A Fish Caught in Time (Egy időtlen hal)*, 159. oldal.

253.o. „1958-ban megegyeztek az Egyesült Államok tengerészetével...”: Broad, *The Universe Below (Az alattunk lévő világegyetem)*, 54. oldal.

253.o. „Nem sokat tudtunk meg belőle, legfeljebb annyit, hogy képesek vagyunk rá”: *Underwater magazin*, „The Deepest Spot on Earth” (A Föld legmélyebb pontja), 1999 tele.

253.o. „Volt egy nagy gond: tervezői nem találtak rá kivitelezőt”: Broad, *The Universe Below (Az alattunk lévő világegyetem)*, 56. oldal.

254.o. „1994-ben 34 000 jégkorongkesztyű került véletlenül a tengerbe egy koreai teherhajóról egy csendes-óceáni viharban”: *National Geographic*, „New Eyes on the Oceans” (Az óceánok friss szemmel), 2000.október, 93. oldal.

254.o. „...az ember a tengeri sötét világnak talán még csak milliomod vagy milliárdod részét ismerte meg”: Kunzig, *The Restless Sea (A nyugtalan tenger)*, 47. oldal.

255.o. „...3 méternél hosszabb korallférgekre, 30 centiméter széles tátogókagylókra, sok-sok garnélarákra és éti kagylóra...”: Attenborough, *Az élő bolygó (The Living Planet)*, az eredeti műben: 39. oldal.

255.o. „Korábban úgy gondolták, 54 °C-nál melegebb vízben nem élhetnek többsejtűek...”: *National Geographic*, „Deep Sea Vents” (Mélytengeri kürtők), 2000.október, 123. oldal.

255.o. „...ha mind kihordanánk a szárazföldre, 150 méter vastagon borítaná be azt”: Dennis, *The Bird in the Waterfall (Madár a vízesésben)*, 248. oldal.

255.o. „...egy óceán kitisztítása eltarthat akár tízmillió évig is...”: Vogel, *Naked Earth (A meztelen Föld)*, 182. oldal.

256.o. „Jó példa arra, hogy pszichológiailag milyen távol vagyunk az óceánok mélyétől...”: Engel, *The Sea (A tenger)*, 183. oldal.

256.o. „Ha egy hordó nem süllyedt el, ami gyakran megtörtént, belelőttek, hogy a víz belefolyhasson...”: Kunzig, *The Restless Sea (A nyugtalan tenger)*, 294-305. oldal.

256.o. „A kék bálnákkal megtörténik, hogy abbahagynak egy éneket, majd hat hónappal később ott folytatják, ahol megszakították”: Sagan, *Cosmos (Kozmosz)*, 271. oldal.

257.o. „Ott van például a legendás óriás tintahal”: Good Weekend, *„Armed and Dangerous” (Fegyver van nála, és nem fél használni)*, 2000. július 15., 35. oldal.

257.o. „...harmincmillió állatfaj él a tengerekben...”: *Time*, „Call of the Sea” (A tenger szava), 1998.október 5., 60. oldal.

257.o. „Még majdnem 5 kilométeres mélységben is 3700 lényt találtak...”: Kunzig, *The Restless Sea (A nyugtalan tenger)*, 104-105. oldal.

258.o. „...ez az óceánnak kevesebb mint egytizedéről mondható csak el”: az *Economist* felmérése: „The Sea” (A tenger), 1998. május 23., 4. oldal.

258.o. „...még csak be sem került az ötven legtöbb halászzsákmányt felmutató ország közé...”: Flannery, *The Future Eaters (A jövő felfalói)*, 104. oldal.

258.o. „...Sok halász él a cápák »uszonyozásából«...”: Audubon, 1998.május-július, 54. oldal.

259.o. „...akkora hálót húznak maguk után, hogy akár egytucatnyi óriás sugárhajtású repülőgép beleférne”: *Time*, „The Fish Crisis” (A halkrízis), 1997. augusztus 11., 66. oldal.

259.o. „Ez még mindig a sötét középkor. Leeresztjük a hálót, aztán meglátjuk, mi jön föl”: *Economist*, „Pollock Overboard” (Sávos tőkehal a vízben!), 1996. január 6., 22. oldal.

259.o. „Évente akár 22 tonna is lehet az ilyen felesleges halak össztömege, amelyeket visszadobnak a vízbe, legtöbbször már holtan”: az *Economist* felmérése: „The Sea” (A tenger), 1998. május 23., 12. oldal. 259.o. „Az Északi-tenger fenekének nagy területeit évente akár hétszer is tisztára kotorják sugaras vonóhálós hajókkal...”: *Outside*, 1997. december, 62. oldal.

259.o. „...a tengerészek kosárral merték ki a vízből”: *National Geographic*, 1993.október, 18. oldal.

259.o. „1990-re ez tovább csökkent 22 000 tonnára”: az *Economist* felmérése: „The Sea” (A tenger), 1998. május 23., 8. oldal.

259.o. „A halászok mindet kifogták”: Kurlansky, *Cod (Tőkehal)*, 186. oldal.

260.o. „...az állomány még mindig nem tért magához”: *Nature*, „How Many More Fish in the Sea?” (Még mennyi hal van a tengerben?), 2002.október 17., 662. oldal.

260.o. „...bármiből, ami éppen akadt...”: Kurlansky, *Cod (Tőkehal)*, 138. oldal.

260.o. „A biológusok becslése szerint a legtöbb homárt egy éven belül kifogják, miután elérte a törvényben megszabott minimális méretet”: *New York Times* magazin, „A Tale ofTwo Fisheries” (Két halászterület meséje), 2000. augusztus 27., 40. oldal.

260.o. „Az Antarktisz körüli egymásra torlódó jégtömbökön körülbelül 15 millió példány él”: a BBC *Horizon* című sorozatának „Antarctica: The Ice Melts” (Antarktisz: az olvadó jég) című adásának forgatókönyve, 16. oldal.

19. FEJEZET
Az élet keletkezése

261.o. „Néhány nap múlva a vizet tartalmazó lombik sárgászöldre változott, mert kialakultak benne az aminosavak...”: *Earth*, „Life’s Crucible” (Az élet olvasztótégelye), 1998. február, 34. oldal.

261.o. „Amikor Miller kísérletét ezzel az anyaggal próbálták újra, csak egyetlen, meglehetősen egyszerű aminosavat kaptak”: Ball, H_2O, 209. oldal.

261.o. „...lehet, hogy milliófféle fehérje van az emberi testben...”: *Discover*, „The Power of Proteins” (A fehérjék hatalma), 2002. január, 38. oldal.

262.o. „Még ha a kerekek számát kétszázra csökkentjük, akkor is 1:10260... az esélye annak, hogy egy előre megadott sorrend jöjjön ki”: Crick, *Az élet miként tje, eredete és természete (Life Itself: Its Origin and Nature)*, az eredeti műben: 51. oldal.

262.o. „A hemoglobinban csak 146 aminosav van, tehát egy törpe a többihez képest...”: Sulston és Ferry, *The Common Thread (A közös szál)*, 14. oldal.

262.o. „A DNS egy igazi másológép: másodpercek alatt megduplázza magát...”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 63. oldal.

263.o. „Ha mindennek szüksége van minden másra, kezdetben hogyan állhattak össze a molekulák?”: Davies, *The Fifth Miracle (Az ötödik csoda)*, 71. oldal.

263.o. „...kellett lennie valamiféle halmozott kiválasztási folyamatnak, amelynek során az aminosavak összeálltak”: Dawkins, *A vak órásmester (The Blind Watchmaker)*, az eredeti műben: 45. oldal.

264.o. „A természetben sok molekula magától összeáll, és polimereket képez”: Dawkins, *A vak órásmester (The Blind Watchmaker)*, az eredeti műben: 115. oldal.

264.o. „...az anyag kötelező megnyilvánulása...”: Nuland, *How We Live (Hogyan élünk)*, 121. oldal.

264.o. „Ha valamilyen élőlényt szeretnénk létrehozni, négy fő elemre van szükségünk”: Schopf, *Cradle of Life (Az élet bölcsője)*, 107. oldal.

264.o. „Semmi különös nincsen az élőlényeket felépítő anyagokban...”: Dawkins, *A vak órásmester (The Blind Watchmaker)*, az eredeti műben: 112. oldal.

265.o. „Az egyik legjobb biológia-tankönyvben ez áll...”: Wallace és társai, *Biology (Biológia)*, 428. oldal.

265.o. „Még az 1950-es években is úgy gondolták, hogy az élet nincsen hatszázmillió éves sem”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 71. oldal.

265.o. „Abból, hogy az élet ilyen gyorsan kialakult, arra következtethetünk, hogy a baktériumok könnyen kialakulnak...”: *New York Times*, „Life on Mars? So What?” (Élet a Marson? Nem nagy dolog...), 1996. augusztus 11.

265.o. „Nehéz más következtetésre jutni, mint arra, hogy az élet, mivel ilyen gyorsan kifejlődött, kémiailag elkerülhetetlen”: Gould, *Eight Little Piggies (Nyolc kismalac)*, 328. oldal.

265.o. „...Ausztráliában több tízezer embert meg nem ijesztett egy hangrobbanás-sorozat, és egy tűzgömb áthaladása az égen keletről nyugat felé”: *Sydney Morning Herald*, „Aerial Blast Rocks Towns” (A légi robbanás megrázta a városokat), 1969. szeptember 29. és „Farmer

Finds Meteor Soot” (Egy gazda meteorkormot talált), 1969. szeptember 30.

266.o. „...többféle aminosavat is találtak benne, összesen hetvennégy-félét...”: Davies, *The Fifth Miracle (Az ötödik csoda)*, 209-210. oldal.

266.o. „1969 óta más szenes kondritanyagú meteorok is a Föld útjába kerültek”: *Nature*, „Life’s Sweet Beginnings?” (Az élet édes kezdetei?), 2001. december 20-27., 857. oldal és Earth, „Life’s Crucible” (Az élet olvasztótégelye), 1998. február, 37. oldal.

266.o. „...a felelős tudományos gondolkodás határait feszegeti...”: Gribbin, *In the Beginning: (Kezdetben)*, 78. oldal.

267.o. „Bárhová megyünk a világban, bármilyen állatot, növényt, bogarat vagy moszatot látunk...”: Ridley, *Génjeink (Genome)*, az eredeti műben: 21. oldal.

267.o. „Nem tudhatjuk, hogy amit a kezében tart, vajon tartalmazott-e valaha élőlényeket...”: beszélgetés Victoria Bennett-tel, Canberra, Ausztrál Tudományegyetem, 2001. augusztus 21.

270.o. „Olyan mérges gázok keletkeztek a só- és kénsavakból, amelyek keresztülhatolnának a ruhánkon, és kimarnák a bőrünket”: Ferris, *Seeing in the Dark (Sötétben látók)*, 200. oldal.

270.o. „...kétségkívül az élet történetének legfontosabb, anyagcserével kapcsolatos találmánya...”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 78. oldal.

270.o. „Fehérvérsejtjeink oxigénnel harcolnak a szervezetünket támadó baktériumok ellen”: dr. Laurence Smaje megjegyzése.

271.o. „3,5 milliárd éve viszont valami látványosabb történt”: Wilson, *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*, 186. oldal.

271.o. „Valódi időutazás ez...”: Fortey, *Life (Az élet)*, 66. oldal.

272.o. „Lehet, hogy a Shark Bay-i cianobaktériumok a Föld leglassabban fejlődő élőlényei...”: Schopf, *Cradle of Life (Az élet bölcsője)*, 212. oldal.

272.o. „Az állatoknak nem lett volna elég energiájuk az élethez”: Fortey, *Life (Az élet)*, 89. oldal.

272.o. „...még mindig csak a mikrobákra korlátozódna”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 128. oldal.

272.o. „egy homokszemcsébe milliárdnyi is beleférne”: Brown, *The Energy of Life (Az élet energiája)*, 101. oldal.

273.o. „Csak egy ilyen őskövületet találtak, és a következő legrégebbi ennél ötszázmillió évvel újabb”: Ward és Brownlee, *Rare Earth (A Föld, mint ritkaság)*, 10. oldal.

273.o. „...csak vegyületcsomagok voltak...”: Drury, *Stepping Stones (Lépcsőfokok)*, 68. oldal.

273.o. „...nyolcvan ötszáz oldalas kötetet töltene meg”: Sagan, *Cosmos (Kozmosz)*, 273. oldal.

20. FEJEZET
Kicsi világ

274.o. „Louis Pasteur, a nagy francia vegyész és bakteriológus annyira megszokta, hogy ezeket vizsgálja, hogy minden elé tett fogást nagyítóval nézett meg, mielőtt hozzákezdett volna...”: Biddle, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*, 16. oldal.

274.o. „Ha valaki egészséges, tisztálkodási szokásai pedig átlagosak, akkor körülbelül egybillió baktérium legelészik rajta”: Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 248. oldal, Sagan és Margulis, *Garden of Microbial Delights (A mikrobaörömök kertje)*, 4. oldal.

274.o. „Csak az emésztőrendszerünkben legalább négyszáz fajta, több mint százbillió mikroba él”: Biddle, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*, 57. oldal.

274.o. „Meglepően sok olyan is van... amelynek nem ismerjük a feladatát”: *National Geographic*, „Bacteria” (Baktériumok), 1993. augusztus, 51. oldal.

274.o. „Minden emberi test körülbelül tízbilliárd sejtből áll, és még százbilliárd baktérium lakik benne”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 67. oldal.

275.o. „Mi viszont egy napig sem bírnánk nélkülük”: *New York Times*, „From Birth, Our Body Houses a Microbe Zoo” (Születésünk óta mikrobaállatkert van a testünkben), 1996.október 15., C-3. oldal.

275.o. „A moszatok és a tengerben bugyborékoló egyéb apró lények évente mintegy 150 milliárd kilogramm oxigént állítanak elő”: Sagan és Margulis, *Garden of Microbial Delights (A mikrobaörömök kertje)*, 11. oldal.

275.o. „...a Clostridium perfringens, más néven gázgangréna baktérium, egy kellemetlen, üszkösödést okozó kis élőlény kilenc perc alatt osztódik...”: Outside, 1999. július, 88. oldal.

275.o. „Ilyen szaporodási ütemnél egyetlen baktériumból két nap alatt több lenne, mint ahány proton a világegyetemben van”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 75. oldal.

275.o. „...egy baktériumsejtből 280 000 egyed fejlődhetne ki egyetlen nap alatt...”: de Duve, *A Guided Tour of the Living Cell (Társasutazás az élő sejtbe)*, 2. kötet, 230. oldal.

276.o. „...minden baktérium ugyanabban a génmedencében lubickol”: Margulis és Sagan, *Microcosmos (Mikrokozmosz)*, 16. oldal.

276.o. „Ausztrál tudósok fedezték fel a Thiobacillus concretivorans nevű mikrobát...”: Davies, *The Fifth Miracle (Az ötödik csoda)*, 145. oldal.

276.o. „Van olyan baktérium, ami vegyületeket bont le olyan más anyagokká, amelyekből, amennyire tudjuk, semmi haszna nincs”: *National Geographic*, „Bacteria” (Baktériumok), 1993. augusztus, 39. oldal.

276.o. „...mint egy élőhalott levágott végtagjai egy horrorfilmben...”: *Economist*, „Human Genome Survey” (Az emberi genom felmérése), 2000. július 1., 9. oldal.

276.o. „A legrendkívülibb felismerés azonban az volt, amikor egy Streptococcus baktériumot találtak egy fényképezőgép lencséjében, amely két éven keresztül a Holdon állt”: Davies, *The Fifth Miracle (Az ötödik csoda)*, 146. oldal.

277.o. „Még az is lehetséges, hogy e mikrobák fáradhatatlan rágcsálásának eredménye a földkéreg”: *New York Times* „Bugs Shape Lands-cape, Make Gold” (A bacik alakítják a tájat, és

aranyat is csinálnak), 1996.október 15., C-l. oldal.

277.o. „...ha kivennénk az összes baktériumot a Föld belsejéből, és a felszínre halmoznánk, 15 méterig... befednék azt": *Discover*, „To Hell and Back" (A pokolba és vissza), 1999. július, 82. oldal.

277.o. „Lehet, hogy évszázadonként csak egyszer osztódik...": *Scientific American*, „Microbes Deep Inside the Earth" (Mikrobák a Föld mélyén), 1996.október, 71. oldal.

277.o. „Úgy látszik, a hosszú élet titka a tétlenség": *Economist*, „Earth's Hidden Life" (A Föld titkos élete), 1996. december 21., 112. oldal.

277.o. „De arra is volt már példa, hogy egy 118 éve lezárt konzervdobozból, illetve 166 éve palackozott sörből keltek életre mikroorganizmusok": *Nature*, „A Case of Bacterial Immortality?" (Lehet, hogy halhatatlan baktériumot találtunk?), 2000.október 19., 844. oldal.

277.o. „...baktériumokat élesztettek újra Szibéria örökké (de legalább hárommillió éve) fagyott talajából": *Economist*, „Earth's Hidden Life" (A Föld titkos élete), 1996. december 21., 111. oldal.

277.o. „A rekordot a pennsylvaniai West Chester Egyetem kutatói, Russell Vreeland és munkatársai tartják...": *New Scientist*, „Sleeping Beauty" (Csipkerózsika), 2000.október 21., 12. oldal.

278.o. „A kételkedésre hajlamosabb tudósok felvetették, hogy a mintákba esetleg máshonnan kerültek be mikrobák...": *BBC News Online*, „Row over Ancient Bacteria" (Vita a baktérium-Matuzsálemekről), 2001. június 7.

278.o. „A baktériumokat is a növényekhez sorolták...": Sagan és Margulis, *Garden of Microbial Delights (A mikrobaörömök kertje)*, 22. oldal.

279.o. „1969-ben, amikor... Whittaker megkísérelt rendet teremteni az egyre bonyolódó osztályozásban...": Sagan és Margulis, *Garden of Microbial Delights (A mikrobaörömök kertje)*, 23. oldal.

280.o. „Egy számítás szerint akár kétszázezer különböző fajt is ide lehetne gyömöszölni": Sagan és Margulis, *Garden of Microbial Delights (A mikrobaörömök kertje)*, 24. oldal.

280.o. „Woese szerint akkor még csak körülbelül ötszáz baktériumfajt ismertek...": *New York Times*, „Microbal Life's Steadfast Champion" (A mikrobaélet rendíthetetlen bajnoka), 1996.október 15., C-3. oldal.

280.o. „Tenyészetben csak mintegy 1%-uk gyarapodik": *Science*, „Micro-biologists Explore Life's Rich, Hidden Kingdom" (A mikrobiológusok felfedezik az élet gazdag, titkos országát), 1997. március 21., 1740. oldal.

280.o. „Olyan ez, mintha az állatvilágot az állatkerti példányok alapján akarnánk megismerni": „Microbal Life's Steadfast Champion" (A mikrobaélet rendíthetetlen bajnoka), 1996.október 15., C-7. oldal.

281.o. „...Woese »keserűen csalódott«...": Ashcroft, *Life at the Extremes (Élet extrém körülmények között)*, 274-275. oldal.

281.o. „A biológia olyan, mint a fizika: elért arra a szintre, ahol az érdekes dolgokat és kölcsönhatásaikat gyakran nem lehet közvetlenül, megfigyelés útján tapasztalni": *Proceedings of the National Academy of Sciences*, „Default Taxonomy: Ernst Mayr's View of the Microbial World" (Alapvető rendszertan: Ernst Mayr nézetei a mikrobák világáról), 1998. szeptember 15.

282.o. „...Woese nem biológus, és ezért természetes, hogy az osztályozás alapelveit nem nagyon is-

meri...”: Proceedings of the National Academy of Sciences, „Two Empires or Three?” (Két ország van vagy három?), 1998. augusztus 18.

282.o. „Az élet huszonhárom fő ágából csak három... látható szabad szemmel”: Schopf, *Cradle of-Life (Az élet bölcsője)*, 106. oldal.

282.o. „...ha összeszámolnánk a bolygó biomasszáját, tehát minden élőlényt, a mikrobák adnák az össztömeg 80%-át...”: *New York Times*, „Microbal Life’s Steadfast Champion” (A mikroba-élet rendíthetetlen bajnoka), 1996.október 15., C-7. oldal.

282.o. „A Föld leginkább fertőző élőlénye egy Wolbachia nevű baktérium...”: *Nature*, „Wolbachia: a tale of sex and survival” (Wolbachia: a szex és a túlélés története), 2001. május 11., 109. oldal.

283.o. „...a mikrobáknak csak mintegy ezredrésze betegíti meg az embert...”: *National Geographic*, „Bacteria” (Baktériumok), 1993. augusztus, 39. oldal.

283.o. „A mikrobák... a nyugati világ vezető halálokai között a harmadik helyet foglalják el...”: *Outside*, 1999. július, 88. oldal.

283.o. „...a történelem során számos betegséget jegyeztek fel, ami »borzalmas járványt okozott, majd ugyanolyan titokzatosan tűnt el, ahogyan megjelent«„: Diamond, *Háborúk, járványok, technikák (Guns, Germs and Steel)*, az eredeti műben: 208. oldal.

284.o. „...egy nekrotizáló fasciitis nevű betegség a legijesztőbb és leggyógyíthatatlanabb kór, amelynek során a baktériumok gyakorlatilag belülről kifelé haladva felfalják áldozatukat...”: Gawande, *Complications (Szövődmények)*, 234. oldal.

285.o. „Elérkezett az idő, hogy lezárjuk a történelemben a fertőző betegségek fejezetét”: *New Yorker*, „No Profit, No Cure” (Nincs haszon, nincs gyógyítás), 2001. november 5., 46. oldal.

285.o. „Beszéde közben a baktériumtörzsek 90%-a azon dolgozott, hogyan válhatnának immúnissá a penicillinnel szemben”: *Economist*, „Disease Fights Back” (A betegségek visszavágnak), 1995. május 20.

285.o. „...1997-ben egy tokiói kórházban feltűnt egy még újabb törzs, amely már ennek is ellenáll”: *Boston Globe*, „Microbe Is Feared to Be Winning Battle Against Antibiotics” (Félő, hogy a mikroba legyőzi az antibiotikumokat), 1997. május 20., 15. oldal.

285.o. „James Surowiecki azt írta...”: *New York Times*, „No Profit, No Cure” (Nincs haszon, nincs gyógyítás), 2001. november 5., 46. oldal.

286.o. „Az Egyesült Államok Egészségügyi Hivatala például csak 1994-ben vett róla tudomást”: *Economist*, „Bugged by Disease”, 1998. március 21., 93. oldal.

286.o. „Emberek százai, sőt ezrei haltak meg gyomorfekélyben, pedig segíthettünk volna rajtuk”: *Forbes*, „Do Germs Cause Cancer?” (A mikrobák rákot okoznak?), 1999. november 15., 195. oldal.

286.o. „Azóta sok más betegségről kimutatták, hogy részben vagy egészen baktériumok okozzák...”: *Science*, „Do Chronic Diseases Have an Infectious Root?” (A krónikus betegségeket fertőzés okozza?), 2001. szeptember 14., 1974-1976. oldal.

286.o. „...egy darab nukleinsav rossz hírekbe csomagolva...”: Oldstone, *Viruses, Plagues and History (Vírusok, járványok, történelem)*, 8. oldal.

286.o. „Körülbelül ötezer vírustípust ismerünk...”: Biddle, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*, 153-154. oldal.

286.o. „A XX. században csak a himlő körülbelül háromszázmillió ember halálát okozta”: Oldsto-

ne, *Viruses, Plagues and History (Vírusok, járványok, történelem)*, 1. oldal.

287.o. „A betegségben tíz év alatt ötmillió ember halt meg, mielőtt a vírus csendesen visszahúzódott volna”: Kolata, *Flu (Influenza)*, 292. oldal.

287.o. „Az első világháborúban négy év alatt 21 millió ember halt meg, a spanyolnátha ugyanezt négy hónap alatt elvégezte”: *American Heritage*, „The Great Swine Flu Epidemic of 1918” (Az 1918-as nagy spanyolnáthajárvány), 1976. június, 82. oldal.

287.o. „Az egészségügyi hatóságok vakcinát akartak kifejleszteni, ezért kísérleteket végeztek egy katonai börtön erre vállalkozó elítéltjein”: *American Heritage*, „The Great Swine Flu Epidemic of 1918” (Az 1918-as nagy spanyolnáthajárvány), 1976. június, 82. oldal.

289.o. „A Manchesteri Királyi Kórház kutatói felfedezték, hogy egy 1959-ben titokzatos, gyógyíthatatlan okból meghalt tengerész valójában AIDS-es volt”: *National Geographic*, „The Disease Detectives, 1991. január, 132. oldal.

289.o. „1969-ben a Connecticut állambeli New Haven Yale Egyetemén egy fiatal orvos a betegség tanulmányozása közben...”: *Oldstone, Viruses, Plagues and History (Vírusok, járványok, történelem)*, 126. oldal.

289.o. „1990-ben egy Chicagóban élő nigériai férfi Lassa-lázzal fertőződött, amikor szülőföldjén járt...”: Oldstone, *Viruses, Plagues and History (Vírusok, járványok, történelem)*, 128. oldal.

21. FEJEZET
Az élet megy tovább

290.o. „Majdnem minden élőlény...”: Schopf, *Cradle of Life (Az élet bölcsője)*, 72. oldal.

290.o. „A kőzeteknek csak mintegy 15%-a alkalmas őskövületek képzésére...”: Lewis, *The Dating Game (A kormeghatározási játék)*, 24. oldal.

291.o. „...fajok közül csak minden tízezredikből van őskövület példányunk”: Trefil, *101 Things You Don’t Knoiv About Science (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról)*, 280. oldal.

291.o. „...eddig 250 000 faj őskövülete került az őslénytani anyagba...”: Leakey és Lewin, *The Sixth Extinction (A hatodik kihalás)*, 45. oldal.

291.o. „A megtalált őskövületek majdnem 95%-a vízben... élő állatokból maradt”: Leakey és Lewin, *The Sixth Extinction (A hatodik kihalás)*, 45. oldal.

291.o. „Talán itt kicsit soknak tűnik – mondta...”: Beszélgetés Richard Forteyval, londoni Természettudományi Múzeum, 2001. február 19.

292.o. „Az emberek... eddig ennek az időnek éppen fél százalékán keresztül bírták ki”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 24. oldal.

292.o. „...egy rák nagyságú Profallotaspis vagy Elenellus...”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 121. oldal.

293.o. „...olyan szép kis gyűjteményt szedett össze, hogy azt Louis Agassiz... megvásárolta...”: „From Farmer-Laborer to Famous Le-ader: Charles D. Walcott (1850-1927)” (A földművesből vezető lesz...), GSA Today, 1996. január.

293.o. „1879-ben Walcott terepmunkára jelentkezett...”: Gould, *Wonderful Life (Csodálatos élet)*, 242-243. oldal.

293.o. „Walcott könyveinek külön polc van fenntartva a könyvtárakban”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 53. oldal.

294.o. „...egyetlen támpont, amely alapján el tudtuk képzelni a mai bonyolult életformák kialakulását...”: Gould, *Wonderful Life (Csodálatos élet)*, 56. oldal.

294.o. „Gould mindig is hajlamos volt a túlzott aggályoskodásra, és... úgy gondolta...”: Gould, *Wonderful Life (Csodálatos élet)*, 71. oldal.

294.o. „Összesen körülbelül száznegyvenféle fajt találtak”: Leakey és Lewin, *The Sixth Extinction (A hatodik kihalás)*, 27. oldal.

294.o. „...anatómiailag változatosabb volt, mint bármelyik másik lelőhely...”: Gould, *Wonderful Life (Csodálatos élet)*, 208. oldal.

294.o. „Walcott ezek után annyira félreértelmezte ezeket a csodálatos őskövületeket...”: Gould, Eight Little Piggies (Nyolc kismalac), 225. oldal.

295.o. „1973-ban viszont a Cambridge Egyetem doktorandusza...”: *National Geographic*, „Explosion of Life” (Életrobbanás), 1993.október, 126. oldal.

295.o. „Annyi ismeretlen újdonságot találtak ezeken a lényeken...”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 123. oldal.

295.o. „...ugyanolyan szerkezete van, mint valamelyik kambriumbeli elődjének”: „How Do Genes Switch On?” (Hogyan kapcsolódnak be a gének?), *US News and World Report*, 1997. augusztus 18., 74. oldal.

296.o. „...tizenöt vagy akár húsz...”: Gould, *Wonderful Life (Csodálatos élet)*, 25. oldal.

296.o. „Tekerjük vissza az élet magnószalagját...”: Gould, *Wonderful Life (Csodálatos élet)*, 14. oldal.

296.o. „1946-ban Sprigg, Dél-Ausztrália állami segédgeológusa...”: Corfield, *Architects of Eternity (Az örökkévalóság építészei)*, 287. oldal.

297.o. „...nem nyerte meg a társaság elnökének tetszését...”: Corfield, *Architects of Eternity (Az örökkévalóság építészei)*, 287. oldal.

297.o. „Kilenc évvel később, 1957-ben...”: Fortey, *Life (Az élet)*, 85. oldal.

298.o. „Ma semmi efféle állat nem él”: Fortey, *Life (Az élet)*, 88. oldal.

298.o. „Nehéz ősöknek tekinteni őket”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 125. oldal.

298.o. „Bár Stephen Gould olyan világosan gondolkodna, ahogyan ír!”: Dawkins, *Sunday Telegraph*, 1990. február 25.

298.o. „Egyikük, aki a New York Timesba. Írta kritikáját a könyvről...”: *New York Times* Book Review, „Survival of the Luckiest” (A legszerencsésebb éli túl), 1989.október 22.

299.o. „...Dawkins egyik cikke, amelyben megtámadta Gould azon állítását...”: a Full House recenziója az Evolution folyóiratban, 1997. június.

299.o. „Az őslénykutatók igencsak meglepődtek, amikor váratlanul nekitámadott Gouldnak saját könyvében, amelynek a címe The Crucibles of Creation...”: a teremtés olvasztótégelyei recenziója a *New York Times* Book Review-ban: „Rock Ages” (Kőkor), 1998. május 10., 15. oldal.

299.o. „Még soha nem olvastam ilyen epés szakkönyvet”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 138. oldal.

300.o. „...hasonlítsuk össze a cickányt és az elefántot”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 132. oldal.

300.o. „Egyikük sem olyan furcsa, mint a mai kacsakagyló...”: Fortey, *Life (Az élet)*, 111. oldal.

300.o. „...ettől még érdekesek és különösek maradnak, csak éppen megmagyarázhatóbbak”: Fortey, „Shock Lobsters” (Megbotránkoztató rákok), *London Review of Books*, 1998.október 1.

301.o. „Ha egy bonyolult élőlény, mint a háromkaréjú rák, egyszer csak mindentől elszigetelve életre kelne...”: Fortey, *Trilobite! (A háromkaréjú rák)*, 137. oldal.

22. FEJEZET
Agyő, világ!

303.o. „Az Antarktisz olyan területein, ahol gyakorlatilag semmi más növény nem él meg...”: Attenborough, *Az élő bolygó (The Living Planet)*, az eredeti műben: 48. oldal.

303.o. „A szervetlen kő magától élő növénnyé válik!”: Marshall, *Mosses and Lichens (Moha és zuzmó)*, 22. oldal.

303.o. „A világon több mint húszezer zuzmófaj él”: Attenborough, *A növények magánélete (The Private Life of Plants)*, az eredeti műben: 214. oldal.

304.o. „...a lapostányér méretűek valószínűleg több száz, ha nem több ezer évesek...”: Attenborough, *Az élő bolygó (The Living Planet)*, az eredeti műben: 42. oldal.

304.o. „Ha a Föld négy és fél milliárd éves történelmét egyetlen napba sűrítenénk...”: Schopf, *Cradle of Life (Az élet bölcsője)*, 13. oldal.

305.o. „...kitárjuk a karunkat, amennyire csak tudjuk, és elképzeljük, hogy az a Föld teljes története”: McPhee, *Basin and Range (Medence és hegylánc)*, 126. oldal.

306.o. „...oxigénszintje már 35% volt...”: Officer és Page, *Tales of the Earth (Mesék a Földről)*, 123. oldal.

306. o. „...az izotópok eloszlása attól függ, hogy létrehozásukkor mennyi oxigén vagy szén-dioxid volt a légkörben”: Officer és Page, *Tales of the Earth (Mesék a Földről)*, 118. oldal.

307.o. „Az Egyesült Államok Légiereje kutatói szitakötőket tettek szélcsatornákba, hogy kiderítsék, hogyan képesek erre a teljesítményre, és elkeseredtek”: Conniff, *Spineless Wonders (Gerinctelen csodák)*, 84. oldal.

307.o. „A karbon kori erdőkben akkor példányok repkedtek, mint egy mai holló”: Fortey, *Life (Az élet)*, 201. oldal.

308.o. „A csapat szerencsésen talált is egy ilyen állatot...”: a BBC Horizon című sorozatának „The Missing Link” (A hiányzó láncszem) című adása; első sugárzás: 2001. február 1.

308.o. „A nevük arra utal, hogy hány kis lyuk és milyen helyzetben található a koponyájukon”: Tudge, *The Variety of Life (Az élet sokfélesége)*, 411. oldal.

309.o. „...van, aki inkább négyezer milliárdra becsüli”: *The Variety of Life (Az élet sokfélesége)*, 9. oldal.

309.o. „Jó közelítés, ha azt mondjuk, minden faj kihalt”: Gould, *Eight Little Piggies (Nyolc kismalac)*, 46. oldal.

309.o. „...átlagos fennmaradási ideje körülbelül négymillió év...”: Leakey és Lewin, *The Sixth Extinction (A hatodik kihalás)*, 38. oldal.

309.o. „A fajok kihalásának egyetlen alternatívája a pangás...”: Beszélgetés Ian Tattersall-lal, az Amerikai Természettudományi Múzeum munkatársával, New York, 2002. május 6.

309.o. „A Föld történetének válságos időszakai után a fejlődés mindig megugrott”: Stanley, Extinction (A fajok kihalása), 95. oldal, Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 12. oldal.

310.o. „Az őskövületek tanúsága szerint velük együtt elpusztult az akkori fajok legalább 95%-a”: *Harper's*, „Planet of Weeds” (Gyomok bolygója), 1998.október, 58. oldal.

310.o. „Még a rovarfajok egyharmadát is elveszítettük, pedig azok nem szoktak tömegesen kihalni”:

Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 235. oldal.

310.o. „Valóban tömeges kihalás volt...”: Fortey, *Life (Az élet)*, 235. oldal.

310.o. „...a perm végén hány faj maradt meg, és ezek szerint az érték 45 000-től 240 000-ig bármekkora lehet”: Gould, *Hen's Teeth and Horse's Toes (Tyúkfog és lólábujj)*, 340. oldal.

310.o. „Ha az egyedekről lenne szó, lehet, hogy a veszteség még nagyobb lenne; sok faj esetében 100%-os”: Powell, *Night Comes to the Cretaceous (A kréta kor alkonya)*, 143. oldal.

310.o. „A legelő állatokat, köztük a lovakat is majdnem megsemmisítette a mintegy ötmillió éve történt Hemphilli-epizód”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 100. oldal.

310.o. „Legalább két tucat ok vagy fő előidéző lehetett...”: *Earth*, „The Mystery of Selective Extinction” (A szelektív fajkihalás rejtélye), 1996.október, 12. oldal.

311.o. „...többtonnányi feltevésünk van, de csak nagyon kevés bizonyítékunk”: *New Scientist*, „Meltdown” (Beolvasztás), 1999. augusztus 7.

311.o. „Nehéz ekkora robbanást elképzelni...”: Powell, *Night Comes to the Cretaceous (A kréta kor alkonya)*, 19. oldal.

311.o. „A KT-meteornak megvolt az az előnye is – legalábbis az emlősök szempontjából...”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 17. oldal.

312.o. „Hogyan lehetséges, hogy ezek az érzékeny állatok sérülés nélkül vészeltek át egy ilyen páratlan katasztrófát?”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 43. oldal.

312.o. „A tengerekben hasonló furcsaságok történtek”: Gould, *Eight Little Piggies (Nyolc kismalac)*, 304. oldal.

312.o. „Valahogy nem kielégítő, ha azt mondjuk egyesekre, szerencsésen megúszták, és ennyiben maradunk”: Fortey, *Life (Az élet)*, 292. oldal.

313.o. „...a dinoszauruszok kihalását közvetlenül követő kort nyugodtan nevezhetnénk a teknősök korának”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 39. oldal.

313.o. „Lehet, hogy az evolúció is irtózik a vákuumtól, de biztos, hogy nem nagyon siet a betöltésével”: Stanley, *Extinction (A fajok kihalása)*, 92. oldal.

313.o. „Óvatosságból az emlősök még körülbelül tízmillió éven át kicsik maradtak”: Novacek, *Time Traveler (Időutazó)*, 313.o. „Egy ideig orrszarvú méretű tengerimalacok és kétemeletes háznyi orrszarvúk dübörögtek a Földön”: Dawkins, *A vak órásmester (The Blind Watchmaker)*, az eredeti műben: 102. oldal.

314.o. „Több millió éven át egy Titanis nevű, hatalmas, repülni képtelen, húsevő madár volt Észak-Amerika legfélelmetesebb ragadozója”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 138. oldal.

314.o. „1903-ban Pittsburghben építtette Andrew Carnegie, és a múzeumnak ajándékozta”: Colbert, *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*, 164. oldal.

314.o. „A tudósok nemrég még csak mintegy háromszáz... példány őskövületei alapján következtettek a dinoszauruszok világára”: Powell, *Night Comes to the Cretaceous (A kréta kor alkonya)*, 168-169. oldal.

315.o. „Nincs okunk feltételezni, hogy a kréta kor utolsó hárommillió évében fokozatosan kihaltak”: a BBC *Horizon* című sorozatának „Crater of Death” (Halálkráter) című adása; első sugárzás: 2001. május 6.

315.o. „A mai emberek azért élhetnek, mert a hozzánk vezető sor soha nem tört meg...”: Gould,

Eight Little Piggies (Nyolc kismalac), 229. oldal.

23. FEJEZET
A lét gazdagsága

316.o. „Csak az „alkoholszobában” majdnem 25 kilométernyi polc van”: Thackray és Press, *The Natural History Museum: (A Természetrajzi Múzeum)*, 90. oldal.

317.o. „...akkor már negyvennégy éve vége volt”: Thackray és Press, *The Natural History Museum: (A Természetrajzi Múzeum)*, 74. oldal.

318.o. „A könyvet 1956-ban adták ki, és a legtöbb könyvtárban ez az egyetlen mű ebben a tárgykörben”: Conard, *How to Know the Mosses and Liverworts (Hogyan ismerjük fel a mohákat és májfüveket)*, 5. oldal.

318.o. „Igazán sokfélét a trópusokon találni...”: Beszélgetés Len Ellis-szel, Londoni Természettudományi Múzeum, 2002. április 18.

320.o. „...átnézett egy bála takarmányt, amelyet a hajó állatainak vásároltak, és ebben is új növényeket fedezett fel”: Barber, *The Heyday of Natural History: 1820-1870 (A természetrajz aranykora)*, 17. oldal.

322.o. „Az egyik kagylófaj részeit... nevezte el”: Gould, *Leonardo's Mountain of Clams and the Diet of Worms (Leonardo kagylóhegyei és a férgek étrendje)*, 79. oldal.

322.o. „A szerelem a növényeket is megérinti. A hímek és nőstények... nászukat tartják...”: Gjertsen, *The Classics of Science (A tudomány klasszikusai)*, 237. oldal.

322.o. „...Linné Physalis hangulatára rövidített...”: Kastner, *A Species of Eternity (Egy faj az örökkévalóságból)*, 31. oldal.

323.o. „Nagy műve, a Systema Naturae (A természet rendszere) 1735-ben, első kiadásakor...”: Gjertsen, *The Classics of Science (A tudomány klasszikusai)*, 223. oldal.

323.o. „...az angol John Ray háromkötetes Historia Generalis Plantarum-ja...”: Durant, *The Age of Louis XIV (XIV. Lajos kora)*, 519. oldal.

323.o. „...Linné egyszeriben az angol természetbúvárok atyja lett”: Thomas, *Man and the Natural World (Az ember és a természet)*, 65.oldal.

323.o. „...tengerészek és más nagy képzelőerejű utazók leírása alapján ismert”: Schwartz, *Sudden Origins (Hirtelen eredetek)*, 59. oldal.

323.o. „...ő ismerte fel elsőként, hogy a bálnák ugyanoda tartoznak, mint a tehenek vagy az egerek: a korábban négylábúnak, ma már emlősöknek nevezett állatcsoportba”: Schwartz, *Sudden Origins (Hirtelen eredetek)*, 59. oldal.

324.o. „...használatban voltak olyan elnevezések is mint például a kancafing...”: Thomas, *Man and the Natural World (Az ember és a természet)*, 82-85. oldal.

325.o. „...Edward O. Wilson The Diversity of Life... című könyvében”: Wilson, *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*, 157. oldal.

326.o. „...sokak őszinte bánatára átkerült a Pelargonium (gólyacsőrfélék) nemzetségbe”: Elliott, *The Potting-Shed Papers (A melegházi akták)*, 18. oldal.

326.o. „Valószínűleg több mint hárommillió, és kevesebb mint kétszázmillió faj létezik”: Audubon, „Earth's Catalogue” (A Föld leltára), 2002. január-február, Wilson, *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*, 132. oldal.

326.o. „...a világ növény- és állatfajainak 97%-át még nem fedeztük fel”: *Economist*, „A Golden

Age of Discovery" (A felfedezések aranykora), 1996. december 23., 56. oldal.

326.o. „...1,4 millió ismert faj (növények, rovarok, mikrobák, moszatok, minden) van...": Wilson, *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*, 133. oldal.

326.o. „Mások szerint az ismert fajok száma inkább 1,5 és 1,8 millió között lehet...": *US News and World Report*, 1997. augusztus 18., 78. oldal.

327.o. „Grovesnak negyven évbe telt a szálak kibogozása...": *New Scientist*, „Monkey Puzzle" (Majom-kirakó), 2001.október 6., 54. oldal.

328.o. „...évente csak mintegy tizenötezer új fajt jegyeznek be": Wall Street Journal, „Taxonomists Unite to Catalog Every Species, Big and Small" (A taxonómusok összefognak, hogy minden kis és nagy fajt bejegyeztessenek), 2001. január 22.

328.o. „Nem a biodiverzitás... van válsághelyzetben, hanem a taxonómusok!": Beszélgetés Koen Maesszel, Nemzeti Múzeum, Nairobi, 2002.október 2.

328.o. „...sok fajt nem megfelelően írnak le helyi lapokban...": *Nature*, „Challenges for Taxonomy" (A rendszertan megoldandó feladatai), 2002. május 2., 17. oldal.

328.o. „...elindított egy All Species... nevű alapítványt...": *The Times*, „The List of Life on Earth" (Az élet földi leltára), 2001. július 30.

329.o. „...matracunk egyben mintegy kétmillió mikroszkopikus atka otthona is...": Bodanis, *The Secret House (A titkos ház)*, 16. oldal.

329.o. „...dr. John Maunder mérte meg a Brit Orvosi Rovartani Központban": *New Scientist*, „Bugs Bite Back" (A rovarok visszaharapnak), 2001. február 17., 48. oldal.

329.o. „Az atkák emberemlékezet óta együtt éltek velünk...": Bodanis, *The Secret House (A titkos ház)*, 15. oldal.

329.o. „Lesz benne vagy egymillió dundi élesztőgomba...": *National Geographic,* „Bacteria" (Baktériumok), 1993. augusztus, 39. oldal.

330.o. „Ha a Norvégia két különböző helyéről származó két csipet szubsztratoszférában több mint 9000 mikrobafaj él...": Wilson, *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*, 144. oldal.

330.o. „Egy becslés szerint lehet, hogy négyszázmilliót": Tudge, *The Variety of Life (Az élet sokfélesége)*, 8. oldal.

330.o. „...ezer új virágosnövény-fajt talált...": Wilson, *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*, 197. oldal.

330.o. „A trópusi esőerdők a Föld felületének 6%-át borítják...": Wilson, *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*, 197. oldal

331.o. „...három és fél milliárd évnyi evolúción...": *Economist*, „Biotech's Secret Garden" (A biotechnológia titkos kertje), 1998. május 30., 75. oldal.

331.o. „...találtak egy ősi baktériumot egy vidéki kocsma falán...": Fortey, *Life (Az élet)*, 75. oldal.

331.o. „...500 fajukat azonosították (más források szerint 360-at)...": Ridley, Matt, *A sötét bábok királynője (The Red Queen)*, az eredeti műben: 54. oldal.

331.o. „Ha egy közönséges egyhektáros réten összegyűjtenénk az összes gombát...": Attenborough, *A növények magánélete (The Private*
Life of Plants), az eredeti műben: 172. oldal.

331.o. „...a fajok száma becslések szerint akár 1,8 millió is lehet": *National Geographic*, „Fungi" (Gombák), 2000. augusztus, 60. oldal és Leakey és Lewin, *The Sixth Extinction (A hatodik kihalás)*, 117. oldal.

332.o. „Azt hitték, hogy a nagy, repülésre képtelen új-zélandi takahe madár...”: Flannery és Schouten, *A Gap in Nature (Rés a természetben)*, 2. oldal.

332.o. „...a ló ritkaságnak számít a tágabb világban”: *New York Times*, „A Stone-Age Horse Still Roams a Tibetan Plateu” (Kőkorszaki ló kóborol a tibeti fennsíkon), 1995. november 12.

332.o. „...a Megatherium, egy kihaltnak hitt, földön élő, zsiráf nagyságú lajhárfajta...”: *Economist*, „A World to Explode” (Felfedezésre váróvilág), 1995. december 23., 95. oldal.

333.o. „A Crampton-tábla egyetlen sora...”: Gould, *Eight Little Piggies (Nyolc kismalac)*, 32-34. oldal.

333.o. „...4000 kilométert járt be gyalog, hogy összegyűjtsön háromszázezer darazsat”: Gould, *The Flamingo's Smile (A flamingó mosolya)*, 159-160. oldal.

24. FEJEZET
Sejtek

334.o. „...annyi apró alkatrészre lenne szükség, amennyi egy Boeing-777-es felépítéséhez kell...”: *New Scientist*, 2000. december, 37. oldal.

335.o. „...körülbelül 2%-áról tudjuk, hogy hogyan”: Brown, *The Energy of Life (Az élet energiája)*, 229. oldal.

335.o. „Először nem tudták, mi célból, de azután több funkciójára is fény derült...”: Brown, *The Energy of Life (Az élet energiája)*, 229. oldal. 335.o. „A véráramban nitrogén-oxiddá alakul, ellazítja az erek falának izomzatát, így a vér könnyebben folyhat”: Alberts és társai, *Essential Cell Biology (A sejt biológiájának alapjai)*, 489. oldal.

335.o. „»néhány száz« különböző méretű és alakú sejtünk van...”: de Duve, *A Guided Tour of the Living Cell (Társasutazás az élő sejtbe)*, 1. kötet, 21. oldal.

336.o. „Egy átlagos méretű felnőtt mintegy 2 kilogramm halott bőrt cipel magával...”: Bodanis, *The Secret Family (A titkos család)*, 106. oldal.

336.o. „A máj sejtjei többéves kort is megérhetnek...”: de Duve, *A Guided Tour of the Living Cell (Társasutazás az élő sejtbe)*, 1. kötet, 68. oldal.

336.o. „...egyetlen molekulánk sem...”: Bodanis, *The Secret Family (A titkos család)*, 81. oldal.

336. o. „Hooke kiszámította, hogy egy négyzethüvelyknyi parafa 1 259 712 000 ilyen kis cellát tartalmaz...”: Nuland, *How We Live (Hogyan élünk)*, 100. oldal.

337.o. „Miután 1676-ban bejelentette a Királyi Társaságnak, hogy egy csepp borslében mikroszkopikus állatokat talált...”: Jardine, *Ingenious Pursuits: (Elmés foglalatosságok)*, 93. oldal.

337.o. „Úgy számolt, hogy egy csepp vízben 8 280 000 ilyen van...”: Thomas, *Man and the Natural World (Az ember és a természet)*, 167. oldal.

338.o. „Ezeket homunkulusnak (emberkének) nevezte el...”: Schwartz, *Sudden Origins (Hirtelen eredetek)*, 167. oldal.

338.o. „Egyik kevésbé sikeres kísérletében...”: Carey (szerk.), *The Faber Book of Science (A tudomány könyve a Faber kiadó kiadásában)*, 28. oldal.

338.o. „Csak 1839-ben fedezték fel, hogy minden élő anyag sejtekből áll”: Nuland, *How We Live (Hogyan élünk)*, 101. oldal.

338.o. „A sejtet sok mindenhez hasonlították már...”: Trefil, *101 Things You Dont Know About Science (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról)*, 33. oldal és Brown, *The Energy of Life (Az élet energiája)*, 78. oldal.

338.o. „Ha ezt arányosan felnagyítjuk, méterenként 20 millió voltot kapunk...”: Brown, *The Energy of Life (Az élet energiája)*, 87. oldal.

339.o. „...az állaga körülbelül olyan, mint egy »lágyabb gépzsíré«...”: Nuland, *How We Live (Hogyan élünk)*, 103. oldal.

339.o. „...és másodpercenként akár egymilliárdszor egymásnak ütköznek”: Brown, *The Energy of Life (Az élet energiája)*, 80. oldal.

339.o. „A molekulák világát soha nem fogjuk tudni elképzelni...”: de Duve, *A Guided Tour of the Living Cell (Társasutazás az élő sejtbe)*, 2. kötet, 293. oldal.

340.o. „...minden sejtben legalább 100 millió fehérjemolekula van”: Nuland, *How We Live (Ho-*

gyan élünk), 157. oldal.

340.o. „Minden adott pillanatban körülbelül egymilliárd ATP-molekula van testünk minden sejtjében...”: Alberts és társai, *Essential Cell Biology (A sejt biológiájának alapjai)*, 110. oldal.

340.o. „Mindennap körülbelül testtömegünk felének megfelelő mennyiségű ATP-t hozunk létre, és használunk el”: *Nature*, „Darwin’s Motors” (Darwin motorjai), 2002. május 2., 25. oldal.

341.o. „Halálos, rosszindulatú daganat csak egyszer fordul elő minden százmillió milliárd sejtosztódás során”: Ridley, Génjeink (Genome), az eredeti műben: 237. oldal.

342.o. „...a legeslegjobb ötlet, amely valakinek eszébe juthat...”: Dennett, *Darwin veszélyes ideája (Darwin’s Dangerous Idea)*, az eredeti műben: 21. oldal.

25. FEJEZET
Darwin páratlan gondolata

343.o. „A galambok mindenkit érdekelnek”: Boorstin, *Cleopatras Nose (Kleopátra orra)*, 176. oldal.

344.o. „Semmivel nem törődsz, csak a vadászattal, kutyákkal, patkányfogással; szégyent hozol magadra és egész családodra...”: Boorstin, *The Discoverers (A felfedezők)*, 467. oldal.

344.o. „Egy érthetően kétségbeesett gyermeken végzett műtét végignézése után...”: Desmond és Moore, Darwin, 27. oldal.

344.o. „...az őrület határát súrolva...”: Hamblyn, *The Invention of Clouds (A felhők feltalálása)*, 199. oldal.

345.o. „Öt évet töltöttek együtt, és a kapitány egyszer sem célzott a kapcsolatukra...”: Desmond és Moore, Darwin, 197. oldal.

345.o. „...elméletet alkotott a korallzátonyok kialakulásáról, amely szerint azokhoz legalább egymillió év kellett...”: Moorehead, Darwin and the *Beagle* (Darwin és a *Beagle*J, 191. oldal.

345.o. „Amikor az ifjabb Darwin visszatért Angliába, és elolvasta Thomas Malthus An Essay on the Principle of Population... című munkáját”: Gould, *Ever since Darwin: (Darwintól fogva)*, 21. oldal.

346.o. „Milyen buta vagyok, hogy nem nekem jutott eszembe!”: *Sunday Telegraph*, „The Origin of Darwin’s Genius” (Darwin lángelméjének eredete), 2002. december 8.

346.o. „Madártani tudós barátja, John Gould vette észre...”: Desmond és Moore, *Darwin*, 209. oldal.

346.o. „Két évvel később készen állt az első, 230 oldalas »vázlat«„: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 5. kötet, 526. oldal.

346.o. „Úgy utálom a kacsakagylót, ahogy azt még ember nem utálta...”: Ferris idézi *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)* című könyve 239. oldalán.

347.o. „Volt, aki azt hitte, Darwin áll a könyv mögött”: Barber, *The Heyday of Natural History (A természetrajz aranykora)*, 214. oldal.

348.o. „Olyan, mintha Wallace kijegyzetelte volna 1842-es vázlatomat”: *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*, 5. kötet, 528. oldal.

348.o. „Ez a nyár lesz a huszadik (!), amióta elkezdtem feljegyzéseimet...”: Desmond és Moore, *Darwin*, 454-455. oldal.

348.o. „...akármennyi legyen is az, romba dől...”: Desmond és Moore, *Darwin*, 469. oldal.

349.o. „Ami új bennük, az nem igaz, ami pedig igaz, azt régóta tudjuk...”: Gribbin és Cherfas, *The First Chimpanzee (Az első csimpánz)*, 150. oldal.

349.o. „Darwin elsőbbségét másvalaki kérdőjelezte meg: Patrick Matthew skót kertész...”: Gould, *The Flamingo’s Smile (A flamingó mosolya)*, 336. oldal.

349.o. „Saját magát »az ördög káplánjának« nevezte...”: Cadbury, *Terrible Lizard (Rettentő gyík)*, 305. oldal.

349.o. „...mintha gyilkosságot gyónna meg...”: Desmond és Moore, Darwin, xvi. oldal.

350.o. „...az ügy ebben a pillanatban még megmagyarázhatatlan...”: Gould, *Wonderful Life (Csodálatos élet)*, 57. oldal.

350.o. „Tévesen, de találékonyan felvetette...”: Gould, *Ever since Darwin: (Darwintól fogva)*, 126. oldal.

350.o. „Darwin túl messzire megy”: McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 190. oldal.

350. o. „...ő maga (Huxley) az ugrásszerű átalakulásban hitt...”: Schwartz, *Sudden Origins (Hirtelen eredetek)*, 81-82. oldal.

351.o. „A negyed szem mind a mai napig kísért...”: Keller, *The Century ofthe Gene (A gén évszázada)*, 97. oldal.

351.o. „...beismerem, hogy a lehető legnevetségesebb lenne, ha a természetes kiválasztódás során egy ilyen szerv fokozatosan fejlődnek ki”: Darwin, Charles, *A fajok eredete (On the Origin of Species)*, 217. oldal.

351.o. „Darwin végül elveszítette minden támogatóját...”: Schwartz, *Sudden Origins (Hirtelen eredetek)*, 89. oldal.

352.o. „Húszezer kötetes könyvtára volt...”: Lewontin, *It Ain’t Necessarily So (Nem biztos, hogy úgy van)*, 91. oldal.

353.o. „Azt is tudjuk, hogy Darwin olvasta Focke fontos dolgozatát...”: Ridley, *Génjeink (Genome)*, az eredeti műben: 44. oldal.

353.o. „Robert Chambers... biztatta Huxleyt, hogy vegyen rajta részt”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 79. oldal.

354.o. „...monoton beszédű professzora megtartsa mintegy kétórányi bevezetését...”: Clark, *The Survival of Charles Darwin (Charles Darwin, a túlélő)*, 142. oldal.

355.o. „Egyik kísérletében zongorázott nekik...”: Conniff, *Spineless Wonders (Gerinctelen csodák)*, 147. oldal.

355.o. „...saját unokatestvérét vette feleségül...”: Desmond és Moore, *Darwin*, 575. oldal.

355.o. „Darwin sokféle elismerést kapott élete során, de egyet sem A fajok eredetéért...”: Clark, *The Survival of Charles Darwin (Charles Darwin, a túlélő)*, 148. oldal.

355.o. „Darwin elméletét az 1930-as és „40-es évekig soha nem ismerték el szélesebb körben...”: Tattersall és Schwartz, *Extinct Humans (Kihalt emberek)*, 45. oldal.

26. FEJEZET
Az élet anyaga

358.o. „...körülbelül egy nukleotidbázis minden ezerből...”: Sulston és Ferry, *The Common Thread (A közös szál)*, 198. oldal.

358.o. „A kivételek – a vörösvérsejtek, az immunrendszer egyes sejtjei és az ivarsejtek...”: Woolfson, *Life without Genes (Élet gének nélkül)*, 12. oldal.

359.o. „...ez garancia arra, hogy mindenki egyedi legyen...”: de Duve, *A Guided Tour ofthe Living Cell (Társasutazás az élő sejtbe)*, 2. kötet, 314. oldal.

359.o. „...elérne nemcsak a Földtől a Holdig és vissza, hanem újra és újra”: Dennett, *Darwin veszélyes ideája (Darwin's Dangerous Idea)*, az eredeti műben: 151. oldal.

359.o. „...mintegy 20 millió kilométernyi DNS van bennünk összetekerve”: Gribbin és Gribbin, *Being Human (Embernek lenni)*, 8. oldal.

359.o. „...az élővilág molekulái közül a legkevésbé kreatív; a legtehetetlenebb”: Lewontin, *It Ain't Necessarily So (Nem biztos, hogy úgy van)*, 142. oldal.

359.o. „1869-ben fedezte fel...”: Ridley, *Génjeink (Genome),* az eredeti műben: 48. oldal.

359.o. „Amennyire tudták, a DNS semmit nem tesz...”: Wallace és társai, *Biology (Biológia)*, 211. oldal.

360.o. „...az élet bonyolultságának megfelelő összetettség a sejtmag fehérjéiben kell hogy legyen”: de Duve, *A Guided Tour of the Living Cell (Társasutazás az élő sejtbe)*, 2. kötet, 295. oldal.

361.o. „...egy kis helyiségében (amelyet hamarosan csak mint légyfogót emlegettek)...”: Clark, *The Survival of Charles Darwin (Charles Darwin, a túlélő)*, 259. oldal.

361.o. „...nem létezett arról közmegegyezés, hogy mik a gének, sőt arról sem, hogy léteznek-e”: Keller, *The Century ofthe Gene (A gén évszázada)*, 2. oldal.

361.o. „...ma nagyjából ugyanígy állunk az agyi folyamatokkal, például a gondolattal és az emlékezőképességgel”: Wallace és társai, *Biology (Biológia)*, 211. oldal.

362.o. „...Chargaff... vetette fel, hogy Avery felfedezéséért legalább két Nobel-díjat kellene adni”: Maddox, *Rosalind Franklin*, 327. oldal.

362.o. „...állítólag, még a svéd Karolinska Intézetnél is lobbizott...”: White, *Rivals (Vetélytársak)*, 251. oldal.

363.o. „...gyermekkorában megjelent a Quiz Kids című... rádióműsorban...”: Judson, *The Eighth Day of Creation: (A teremtés nyolcadik napja)*, 46. oldal.

363.o. „...reméltem, hogy a géneket fel lehet deríteni anélkül, hogy kémiát kellene tanulnom”: Watson, *Az élet titka (A kettős spirál)*, 21. oldal.

363.o. „...amelyek eredményeit ők »véletlenül« felhasználták...”: Jardine, *Ingenious Pursuits: (Elmés foglalatosságok)*, 354. oldal.

363.o. „...nem túl hízelgő képet fest róla...”: Watson, *The Double Helix (A kettős spirál)*, 17. oldal.

364.o. „...felesleges sértegetésekkel...”: Jardine, *Ingenious Pursuits: (Elmés foglalatosságok)*, 354. oldal.

364.o. „1952 nyarán kiragasztott egy hirdetményt a King's College hirdetőtáblájára...”: White, *Rivals (Vetélytársak)*, 257. oldal, Maddox, *Rosalind Franklin*, 184. oldal.

365.o. „...nyilvánvalóan az utóbbi tudta vagy beleegyezése nélkül”: a PBS honlapja, „A Science

Odessy" (Tudományos odüsszeia), dátum nélkül.

365.o. „...ezzel sokat segített Watsonnak, aki évekkel később beismerte, hogy »kulcsfontosságú esemény volt. Mozgósított minket«„: Maddox, *Rosalind Franklin*, 144. oldal.

365.o. „...Watson és Crick 900 szavas cikke: »A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid«„(A dezoxiribonukleinsav szerkezete)...": de Duve, *A Guided Tour of the Living Cell (Társasutazás az élő sejtbe)*, 2. kötet, 290. oldal.

365. o. „Röviden megemlítették a News Chronicle-ben, és ennyi": Ridley, *Génjeink (Genome)*, az eredeti műben: 50. oldal.

366.o. „...Franklin ritkán viselt ólomköténytt, és gyakran lépett véletlenül a sugár útjába": Maddox, *Rosalind Franklin*, 144. oldal.

366.o. „...DNS-modellünknek huszonöt év kellett, hogy a »könnyen lehet, hogy így van« minősítés helyett »valószínűleg így van« bélyeget kapjon...": Crick, *What Mad Pursuit (Micsoda őrült foglalatosság)*, 73-74. oldal.

366.o. „...1968-ban már megjelenhetett egy „That Was the Molecular Biology That Was" (Ennyit a molekuláris biológiáról) című cikk a Science folyóiratban...": Keller, *The Century of the Gene (A gén évszázada)*, 25. oldal.

366.o. „Ebben az értelemben olyan, mint a zongora billentyűi: egy hangot ad ki, semmi mást...": *National Geographic*, „Secrets of the Gene" (A gén titkai), 1995.október, 55. oldal.

366.o. „...a guanin például ugyanabból van, ami a nevét adó guanó (madárürülék) nagy részét is kiteszi": Pollack, Robert, *Signs of Life (Életjelek)*, 22-23. oldal.

368.o. „...semmi nincsen, ami minden emberben egyezik...": *Discover*, „Bad Genes, Good Drugs" (Rossz gének, jó szerek), 2002. április, 54. oldal.

368.o. „...csak azon egyszerű okból léteznek, mert olyan könnyedén sokszorosítják magukat": Ridley, *Génjeink (Genome)*, az eredeti műben: 127. oldal.

368.o. „És már azt is kitaláltuk, hogyan használjuk fel": *National Geographic*, „The New Science of Identity" (Az azonosítás új tudománya), 1992. május, 118. oldal.

369.o. „Az emberi gének több mint fele... amennyire tudjuk, semmit nem tesz...": Woolfson, *Life without Genes (Élet gének nélkül)*, 18. oldal.

369.o. „Birodalmak omlanak össze, személyiségek esnek szét, nagy szimfóniákat írnak, és mindezek mögött egyetlen ösztön áll, amely kielégítést követel": Nuland, *How We Live (Hogyan élünk)*, 158. oldal.

369.o. „Ennek a két élőlénynek már legalább ötszázmillió éve nem volt közös őse...": a BBC *Horizon* című sorozatának „Hopeful Monsters" (Szépreményű szörnyek) című adása; első sugárzás: 1998.

369.o. „...legalább 90%-a (megegyezik) az egerekével...": *Nature*, „Sorry, Dogs – man's got a new best friend" (Bocs, kutyák; az embernek más a legjobb barátja), 2002. december 19-26., 734. oldal

369.o. „...még faroknövesztő génünk is van, csak nincsen bekapcsolva...":" *Los Angeles Times* (újranyomás: Valley News), 2002. december 9.

369.o. „Ezeket homeotikus (a szótő görög, jelentése: hasonló) vagy Hox géneknek nevezték el": a BBC *Horizon* című sorozatának „Hopeful Monsters" (Szépreményű szörnyek) című adása; első sugárzás: 1998.

370.o. „Negyvenhat kromoszómánk van, még egyes páfrányoknak hatszáznál is több": Gribbin és

Cherfas, *The First Chimpanzee (Az első csimpánz)*, 53. oldal.

370.o. „A tüdős-kopoltyús halnak, tehát az egyik legegyszerűbb gerinces állatnak negyvenszer annyi DNS-e van, mint az embernek": Schopf, *Cradle of Life (Az élet bölcsője)*, 240. oldal.

370.o. „Az ilyen biodeterminizmus egyik csúcspontja (vagy mélypontja?) volt egy 1980-as Science-cikk...": Lewontin, *It Ain't Necessarily So (Nem biztos, hogy úgy van)*, 215. oldal.

371.o. „A szakáll növekedési sebessége például függ attól, hogy az illető mennyit gondol a szexre...": *Wall Street Journal*, „What Distinguishes Us from the Chimps? Actually, Not Much" (Mennyiben különbözünk a csimpánzoktól? Hát, nem sokban...), 2002. április 12., 1. oldal.

371.o. „Sajnos a proteoma még a genomnál is sokkal bonyolultabb": *Scientific American*, „Move Over, Human Genome" (Emberi genom, félre az útból), 2002. április, 44-45. oldal.

372.o. „Hangulatuktól és az anyagcsere pillanatnyi állapotától függően könnyen összeállnak foszforilgyökökkel, glikolokkal, acetilekkel, szulfátokkal, glikofoszfátgyökökkel...": *The Bulletin*, „The Human Enigma Code" (A titokzatos emberi kód), 2001. augusztus 21., 32. oldal.

372.o. „...csak meg kell innunk egy pohár bort, és máris jelentősen megváltoztattuk a szervezetünkben lévő fehérjék számát és fajtáját": *Scientific American*, „Move Over, Human Genome" (Emberi genom, félre az útból), 2002. április, 44-45. oldal.

372.o. „Bármi, ami igaz a Coli-bacilusra, igaz az elefántra is, csak még sorokkal inkább": *Nature*, „From E. Coli to Elephants" (A Colibaktériumtól az elefántig), 2002. május 2., 22. oldal. 27. fejezet Jégkorszak

375.o. „A londoni Timesban megjelent egy rövid hír...": Williams és Montaigne, *A Galeras kitörése (Surviving Galeras)*, az eredeti műben: 198. oldal.

375.o. „A tavasz nem köszöntött be, a nyár szokatlanul hűvös volt...": Officer és Page, *Tales of the Earth (Mesék a Földről)*, 3-6. oldal.

376.o. „Egy De Luc nevű francia természetbúvár...": Hallam, *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 89. oldal.

376.o. „...észrevett volna más jeleket is, amelyek mind a vonuló jégtáblákról árulkodnak": Hallam, *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 90. oldal.

376.o. „Jean de Charpentier természetbúvár elmeséli...": Hallam, *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 90. oldal.

377.o. „Kölcsönadta jegyzeteit Agassiznak...": Hallam, *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 92-93. oldal. 377.o. „Humboldt... megjegyezte, hogy a tudományos felfedezések három szakaszra oszthatók...": Ferris, *The Whole Shebang (A világmindenség)*, 173. oldal.

377.o. „Az eljegesedés folyamatának megismerése érdekében rengeteget utazott...": McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 182. oldal.

378.o. „William Hopkins, cambridge-i professzor, a Geológiai Társaság egyik vezetője...": Hallam, *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 98. oldal.

379.o. „Mindenhol gleccserek nyomát vélte felfedezni...": Hallam, *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 99. oldal.

379.o. „Végül rögeszméjévé vált, hogy egykor az egész Földet jég fedte...": Gould, *Time s Arrow (Az idő nyila)*, 115. oldal.

379.o. „1873-ban bekövetkezett halála után megüresedett helyét a Harvard Egyetem három professzorral töltötte be": McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 197. oldal.

379.o. „Halála után kevesebb mint tíz évvel...”: McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 197. oldal.

380.o. „A következő húsz évet, még a szabadságait is azzal töltötte...”: Gribbin és Gribbin, *Ice Age (Jégkorszak)*, 51. oldal.

381.o. „Köppen szerint a jégkorszakok oka nem a hideg tél, hanem a hűvös nyár”: Chorlton, *Ice Ages (Jégkorszakok)*, 101. oldal.

381.o. „Nem a lehullott hó mennyisége miatt alakul ki jégtakaró, hanem azért, mert a hó, akármilyen kevés is, megmarad”: Schultz, *Ice Age Lost (Az elveszett jégkorszak)*, 72. oldal.

381.o. „A folyamat öngerjesztő...”: McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 205. oldal.

381.o. „...nehezen lehetett olyan geológust vagy meteorológust találni, aki a modellt ne csupán történelmi érdekességnek tekintette volna”: Gribbin és Gribbin, *Ice Age (Jégkorszak)*, 60. oldal.

382.o. „Valójában még mindig egy jégkorszakban élünk...”: Schultz, *Ice Age Lost (Az elveszett jégkorszak)*, 5. oldal.

382.o. „...valójában a bolygónak nem ez a természetes állapota”: Gribbin és Gribbin, *Fire on Earth (Földi tűz)*, 147. oldal.

382.o. „...valószínű, hogy legalább tizenhét kemény jégkorszak fordult elő az utóbbi két és fél millió év során...”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 148. oldal.

383.o. „...még mintegy ötven... eljegesedésre számíthatunk...”: McPhee, *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*, 4. oldal.

383.o. „Ötvenmillió évvel ezelőtt a Földön nem voltak szabályos jégkorszakok...”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 10. oldal.

383.o. „...kriogénnek, azaz fagykorszaknak nevezik”: McGuire, *A Guide to the End of the World: (Útikalauz a világvégéhez)*, 69. oldal.

383.o. „Elképesztő, hogy a bolygó egész felszíne befagyott...”: *Valley News* (a *Washington Post* alapján), „The Snowball Theory” (A hógolyóelmélet), 2000. június 19., Cl.

384.o. „...A Föld újrafelmelegedése során...”: a BBC *Horizon* című sorozatának „Snowball Earth” (Hógolyó-Föld) című adása; első sugárzás: 2001. február 22.

385.o. „A tudomány ezt a korszakot késő driásznak nevezi”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás),* 34. oldal.

385.o. „...nem okos dolog hatalmas, nem felügyelhető kísérleteket kezdeni”: *New Yorker*, „Ice Memory” (A jég emléke), 2002. január 7., 36. oldal.

386.o. „Kisebb felmelegedés hatására ugyanis gyorsabb lesz a párolgás...”: Schultz, *Ice Age Lost (Az elveszett jégkorszak)*, 72. oldal.

386.o. „Nem kevésbé érdekes a kihalt dinoszauruszok egyikének-másikának földrajzi elterjedése sem”: Drury, *Stepping Stones (Lépcsőfokok)*, 268. oldal.

386.o. „Ausztráliába, ami akkor közelebb volt a Déli-sarkhoz, mint ma, nem tért vissza a melegebb éghajlat”: Thomas H. Rich, Patrícia Vickers-Rich és Roland Gangloff, „Polar Dinosaurs” (Sarki dinoszauruszok), kézirat, dátum nélkül.

386.o. „...most sokkal több víz állna ehhez rendelkezésre, mint korábban”: Schultz, *Ice Age Lost (Az elveszett jégkorszak)*, 159. oldal.

386.o. „Ez az egész világon gyorsan megemelné a tengerszintet, átlagosan 4,5-6 méterrel”: Ball, H_2O, 75. oldal.

387.o. „Kellemes jégkorszakod volt?”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 267. oldal.

28. FEJEZET
A titokzatos kétlábú

388.o. „Nem sokkal 1887 karácsonya előtt...”: *National Geographic*, 1977. május, 87. oldal.

389.o. „...vasúti munkások a franciaországi Les Eyzies melletti, Crô-Magnon nevű hegyen lévő barlangban”: Tattersall és Schwartz, *Extinct Humans (Kihalt emberek)*, 149. oldal.

389.o. „Első tudományos leírását...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 173. oldal.

389.o. „Ez az oka, hogy az első ősemberlelet felfedezését hagyományosan a Neander-völgyinek tulajdonítjuk...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 3-6. oldal.

389.o. „Az angol T. H. Huxley ennek hallatára szárazon megjegyezte...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 59. oldal.

390.o. „Nem maga ásott, hanem ötven elítélt, akiket a holland hatóságok bocsátottak a rendelkezésére”: Gould, *Eight Little Piggies (Nyolc kismalac)*, 126-127. oldal.

390.o. „Az igazat megvallva, sok antropológus kitart amellett, hogy ez a csont a mai embertől származik, és semmi köze a jávaihoz”: Walker és Shipman, *The Wisdom of the Bones (A csontok bölcsessége),* 39. oldal.

390.o. „Ha mégis erectus csontja lenne, akkor is különbözik az összes azóta találttól”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 144. oldal.

390.o. „Rekonstruálta a teljes koponyát is, pedig csak egy darab koponyacsont és egy fog állt rendelkezésére...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 154. oldal.

390.o. „Dubois ezek után igencsak megdöbbent, amikor Schwalbe saját tanulmányt írt...”: Walker és Shipman, *The Wisdom of the Bones (A csontok bölcsessége)*, 42. oldal.

391.o. „Dart rögtön látta, hogy a taungi koponya nem *Homo erectus*tól származik...”: Walker és Shipman, *The Wisdom of the Bones (A csontok bölcsessége)*, 74. oldal.

391.o. „...testüket néha a kertjében temette el, hogy később kiásva tanulmányozhassa őket”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 233. oldal.

392.o. „Dart öt évet töltött egy tanulmány megírásával...”: Lewin, *Bones of Contention (Csontok viszálya)*, 82. oldal.

392.o. „A koponyát... éveken át egy kollégája használta – papírnehezéknek”: Walker és Shipman, *The Wisdom of the Bones (A csontok bölcsessége)*, 93. oldal.

392.o. „...talált egy megkövült őrlőfogat, és csupán ennek alapján bejelentette, hogy felfedezte a Sinanthropus pekinensist...”: Swisher és társai, Java Man (A Jávai ember), 75. oldal.

392.o. „Később rémülten fedezte fel, hogy az őslakosok lelkesen törik apró darabokra a talált csontokat...”: Swisher és társai, *Java Man (A jávai ember)*, 77. oldal.

393.o. „A solói embereket hívták már Homo soloensisnek, Homo primigenius asiaticusnak...”: Swisher és társai, *Java Man (A jávai ember)*, 211. oldal.

393.o. „1960-ban F. Clark Howell, a Chicagói Egyetem munkatársa megpróbált rendet tenni. Ernst Mayr és mások előző évtizedbeli tanácsait követve felvetette...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 267-268. oldal.

393.o. „...összesen körülbelül ötezer egyed – néha nagyon töredékes – maradványai maradtak fenn, és ebből próbálunk következtetéseket levonni a többiekről”: *Washington Post*, „Skull Raises Doubts about our Ancestry”, 2001. március 22.

393.o. „Az összes leletet be lehetne rakodni egy kisteherautóba, ha nem félnénk, hogy összekeverednek...”: beszélgetés Ian Tattersall-lal az Amerikai Természettudományi Múzeumban, New York, 2002. május 6.

394.o. „...azt kellene gondolnunk, hogy az első kéziszerszámokat antilopok készítették”: Walker és Shipman, *The Wisdom of the Bones (A csontok bölcsessége)*, 66. oldal.

395.o. „...úgy látszik, mintha a férfiak és nők különböző sebességben és irányban fejlődtek volna...”: Walker és Shipman, *The Wisdom of the Bones (A csontok bölcsessége)*, 194. oldal.

395.o. „...egyszerűen egy lomtárról van szó, ahová a máshová nem sorolható leleteket »egyszerűen elraktározzák«„: Tattersall és Schwartz, *Extinct Humans (Kihalt emberek)*, 111. oldal.

395.o. „Figyelemre méltó, hogy az új leletek első értelmezése milyen gyakran támasztja alá a felfedező előzetes feltevéseit”: Gribbin és Cherfas, *The First Chimpanzee (Az első csimpánz)*, 60. oldal.

395.o. „Az összes tudományág közül az őslénykutatók a legönérzetesebbek”: Swisher és társai, *Java Man (A jávai ember)*, 17. oldal.

395.o. „Ha az ember mint élőlény történetét tekintjük, annak első 99,99999%-a megegyezik a csimpánzok származásával”: Tattersall, Ian, *The Human Odyssey (Az emberi Odüsszeia)*, 60. oldal.

396.o. „Lucy a legrégebbi ősünk, ő a hiányzó láncszem az emberszabású majom és az ember között”: a PBS Nova című sorozatának „In Search of Human Origins” (Az ember eredetének nyomában) című adása; első sugárzás: 1999. augusztus.

396.o. „...fesztelenül azt válaszolta, hogy nem számította a kéz- és a lábcsontokat – összesen 106 csontot...”: Walker és Shipman, *The Wisdom of the Bones (A csontok bölcsessége)*, 147. oldal.

398.o. „Lucy és fajtársai nem úgy változtatták a helyüket, mint az emberek...”: Tattersall, *The Monkey in the Mirror (A majom a tükörben)*, 88. oldal.

398.o. „Ezek az emberszabásúak csak akkor jártak két lábon, amikor az egyik fás élőhelyről a másikra mentek át...”: Tattersall és Schwartz, *Extinct Humans (Kihalt emberek)*, 91. oldal.

398.o. „Lucy csípője és medencéjének izomszerkezete...”: *National Geographic*, „Face to Face with Lucy’s Family” (Szemtől szemben Lucy családjával), 1996. március, 114. oldal.

398.o. „Az egyiket a fosszíliák felleléséről híres Leakey család Meave nevű tagja találta a kenyai Turkana-tónál”: *New Scientist*, 2001. március 24., 5. oldal.

398.o. „...tehát az eddig talált legöregebb emberszabású volt...”: *Nature*, „Return to the Planet of the Apes” (Visszatérés a majmok bolygójára), 2001. július 12., 131. oldal.

398.o. „2002 nyarán a csádi Djurab-sivatagban... egy francia expedíció majdnem hétmillió éves emberszabásút talált”: *Scientific American*, „An Ancestor to Call our Own” (Egy ős, akit elfogadhatunk), 2003. január, 54-63. oldal.

398.o. „Egyes kétkedők szerint nem volt emberszabású, csak egy ősi emberszabású majom...”: *Nature*, „Face to Face with the Past” (Szemtől szemben a múlttal), 2002. december 19-26., 735. oldal.

399.o. „...mekkora lehetett a kockázat egy kicsi, sebezhető *Australopithecus*nak, akinek az agya kö-

rülbelül narancs nagyságú volt”: Stevens, The Change in the Weather (Időjárás-változás), 3. oldal, Drury, Stepping Stones (Lépcsőfokok), 335-336. oldal.

399.o. „...hanem az erdő hagyta ott őket”: Gribbin és Gribbin, *Being Human (Embernek lenni)*, 135. oldal.

399.o. „Lucy és *Australopithecus*-társai a következő hárommillió év során szinte semmit nem változtak”: a PBS Nova című műsorának „In Search of Human Origin” (Az ember eredetének nyomában) című része, az első adás ideje: 1999. augusztus.

399.o. „...és ők mégsem alkalmazták ezt a hasznos módszert, amely pedig csak egy kőhajításnyira volt tőlük”: Drury, *Stepping Stones (Lépcsőfokok)*, 338. oldal.

400.o. „...agya mintegy másfélszerese volt...”: Gould, *Ever since Darwin: (Darwintól fogva)*, 181-183.

400.o. „Matt Ridley szerint még az is lehetséges, hogy »felfaltuk őket«„: Ridley, *Génjeink (Genome)*, az eredeti műben: 33. oldal.

400.o. „...bár a testtömegnek csak a 2%-át képviseli, energiájának 20%-át ez fogyasztja”: Drury, *Stepping Stones (Lépcsőfokok)*, 345. oldal.

400.o. „A test állandó veszélyben van, mert a falánk agy mindent elfogyasztana, ha nem lenne elég táplálék...”: Brown, *The Energy of Life (Az élet energiája)*, 216. oldal.

401.o. „...C. Loring Brace is makacsul ragaszkodik a lineáris elmélethez...”: Gould, *Leonardo's Mountain of Clams and the Diet ofWorms (Leonardo kagylóhegyei és a férgek étrendje)*, 204. oldal.

401.o. „...a *Homo erectus* a határ...”: Swisher és társai, *Java Man (A jávai ember)*, 131. oldal.

402.o. „Egy kilenc-tizenkét éves fiútól származott, aki 1,54 millió éve halt meg”: *National Geographic*, 1997. május, 90. oldal. 402.o. „A turkanai fiú »nagyon határozottan közülünk való volt«„: Tattersall, *The Monkey in the Mirror (A majom a tükörben)*, 132. oldal.

402.o. „Valaki tehát gondozta őt”: Walker és Shipman, *The Wisdom of the Bones (A csontok bölcsessége)*, 165. oldal.

403.o. „Az előző fajoknál nem tapasztalt kalandvágya miatt lélegzetelállító sebességgel elterjedtek a világon”: *Scientific American*, „Food for Thought” (Gondolkodnivaló), 2002. december, 108-115. oldal.

29. FEJEZET
A nyughatatlan emberszabású

405.o. „Ezeket ezerszámra állították elő”: beszélgetés Ian Tattersall-lal, az Amerikai Természettudományi Múzeum munkatársával, New York, 2002. május 6.

407.o. „...ehhez az embereknek jóval korábban kellett ideérkezniük, mint 60 000 éve”: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2001. január 6.

407.o. „Rengeteg mindent nem tudunk a történelem előtti ember vándorlásairól”: beszélgetés Alan Thorne-nal, Canberra, 2001. augusztus 20.

408.o. „...az ember törzsfejlődésének legutóbbi nagy eseménye – saját ‘fajunk kifejlődése – talán a leghomályosabb az összes esemény közül”: Tattersall, Ian, *The Human Odyssey (Az emberi Odüsszeia)*, 150. oldal.

408.o. „...hogy közülük egyesek vagy esetleg mindannyian valóban *Homo sapiens*ek voltak-e, még nem tisztázott”: Tattersall és Schwartz, *Extinct Humans (Kihalt emberek)*, 226. oldal.

409.o. „...ritkák, nehezen osztályozhatók és kevéssé ismertek...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 412. oldal.

409.o. „Észak-Afrikában egyetlen Neander-völgyi-leletét sem találtak, de szerszámaik gyakran kerülnek elő legkülönbözőbb helyeken”: Tattersall és Schwartz, *Extinct Humans (Kihalt emberek)*, 209. oldal.

409.o. „...a paleoklimatológiában Boutellier-időszaknak nevezett korban...”: Fagan, *The Great Journey (A nagy utazás)*, 105. oldal.

410.o. „Legalább százezer éven keresztül maradtak fenn, de az is lehet, hogy kétszer ennyi ideig...”: Tattersall és Schwartz, *Extinct Humans (Kihalt emberek)*, 204. oldal.

410.o. „1947-ben... terepmunkát végzett a Szaharában...”: Trinkaus és Shipman, *The Neandertals (A Neander-völgyi emberek)*, 300. oldal.

410.o. „A köztudatban továbbra is él a nézet, hogy a Neander-völgyi emberek nem voltak elég intelligensek ahhoz, hogy felvegyék a harcot a földrész karcsúbb, fürgébb észjárású új lakóival, a *Homo sapiens*ekkel”: *Nature*, „Those Elusive Neanderthals” (Azok a rejtőzködő Neander-völgyiek), 2001.október 25., 791. oldal.

410.o. „A mai ember ezt az előnyt... azzal egyenlítette ki, hogy jobb öltözéket viselt, jobban értett a tűzhöz és jobb menedéket készített magának...”: Stevens, *The Change in the Weather (Időjárás-változás)*, 30. oldal.

410.o. „...az előbbieké 1,8 liter volt, az utóbbiaké 1,4 liter”: Flannery, *The Future Eaters (A jövőzabálók)*, 301. oldal.

412.o. „...a rhodesiai ember... csak 25 000 éve fejlődött ki, és lehet, hogy ő az afrikai négerek őse”: Canby, *The Epic of Man (Az ember eposza)*, oldalszám nélkül.

412.o. „Ha öszvért látunk, az nem azt jelenti, hogy az eleje szamár, a hátulja pedig ló”: *Science*, „What – or Who – Did In the Nean-derthals?” (Kitől vagy mitől haltak ki a Neander-völgyi emberek?), 2001. szeptember 14., 1981. oldal.

413.o. „...minden mai embernek ez a népcsoport az őse”: Swisher és társai, *Java Man (A jávai ember)*, 189. oldal.

413.o. „Ekkor viszont elkezdték kicsit jobban megvizsgálni az adatokat”: *Scientific American*, „Is

Out of Africa Going Out the Door?" (Lehet, hogy ez az afrikai származáselmélet vége?), 1999. augusztus.

413.o. „...1997-ben a Müncheni Egyetem kutatói megvizsgálták az eredeti Neander-völgyi ember karcsontjából nyert DNS-t...": *Proceedings of the National Academy of Sciences*, „Ancient DNA and the Origin of Modern Humans" (Az ősi DNS és a mai ember eredete), 2001. január 16.

414.o. „...a mai ember Afrikából származik, az elmúlt százezer év során fejlődött ki, és egy legfeljebb tízezer tagú populáció leszármazottja": *Nature*, „A Start for Population Genomics" (A népes-séggenomika kezdete), 2000. december7., 65. oldal; Natural History, „What's New in Prehistory" (Őskori újdonságok), 2000. május, 90-91. oldal.

414.o. „Nagyobb a genetikai változatosság egy ötvenöt tagú csimpánzcsapatban, mint a Föld összes embere között": *Science*, „A Glimpse of Humans First Journey out of Africa" (Pillantás az ember első Afrikából kivezető útjára), 2000. május 12., 950. oldal.

414.o. „2001 elején Thorne és az Ausztrál Nemzeti Egyetemen dolgozó munkatársai bejelentették, hogy megvizsgálták a legrégebbi – mai tudásunk szerint hatvankétezer éves – mungói maradvány DNS-ét...": *Proceedings of the National Academy of Sciences*, „Mito-chondrial DNA sequences in Ancient Australians: Implications for Modern Human Origins" (Az ős-ausztráliaiak mitokondriális DNS-sorozatai, és ami ebből következik a mai ember eredetére), 2001. január 16.

415.o. „A genetika szerint inkább az afrikai eredet valószínűsíthető": Beszélgetés Rolsalind Hardinggel az Oxfordi Biológiai Antropológiai Intézetben, 2002. február 28.

416.o. „...egyszer egy munkatársa megkérdezte egy őslénykutatótól, hogy egy régi koponyán van-e valamiféle bevonat. A kutató megnyalta a koponya tetejét, és azt mondta, hogy van": *Nature*, 2001. szeptember 27., 359. oldal.

417.o. „...a könyvben, amelyen éppen dolgozom, szó lesz az ember eredetéről, szerveztek nekem egy látogatást Olorgesailie-be": Itt szeretném megjegyezni, hogy a hely nevét gyakran írják Olor-gasaile-nek is, például egyes hivatalos kenyai kiadványokban. Én is így írtam róla, amikor a CERN számára egy kis könyvet készítettem látogatásommal kapcsolatban. Ian Tattersall említette, hogy a helyes írásmód a jelen könyvben szereplő, „e"-s változat.

30. FEJEZET
Viszlát

420.o. „...néhány vázlatos leírás »műveletlen utazóktól, három-négy olajfestmény és néhány, szórványos csontmaradvány«...”: Gould, *Leonardo's Mountain of Clams and the Diet of Worms (Leonardo kagylóhegyei és a férgek étrendje)*, 237. oldal.

421.o. „Ausztráliában... a nagyobb állatok 95%-a kipusztult”: Flannery és Schouten, *A Gap in Nature (Rés a természetben)*, xv. oldal.

421.o. „...nincsen nagy haszna annak, ha valaki a kelleténél gyakrabban vadászik veszélyes állatokra – az ember nem ehet meg akárhány rántott mamutszeletet”: *New Scientist*, „Mammoth Mystery” (Mamutrejtély), 2001. május 5., 34. oldal.

421.o. „...mindössze négy igazán súlyos szárazföldi állat él...”: Flannery, *The Eternal Frontier (Az örök határvidék)*, 195. oldal.

421.o. „...az ember okozta fajkihalás ennek a folyamatnak a sebességét 120 000-szeresére növelte”: Leakey és Lewin, *The Sixth Extinction (A hatodik kihalás)*, 241. oldal.

423.o. „Azonnal elindult a szigetre, de mire odaért, a macska az összes madárral végzett”: Flannery, *The Future Eaters (A jövőzabálók)*, 62-63. oldal.

423.o. „Bár egyik lövést a másik után adtam le...”: Matthiessen, Peter, *Wildlife in America (Amerikai vadvilág)*, 114-115. oldal.

423.o. „Elveszett valahol az állatkertben”: Flannery és Schouten, *A Gap in Nature (Rés a természetben)*, 125. oldal.

424.o. „...Hugh Cuming... aki annyi leletet gyűjtött össze, hogy egy nagy óceánjárót is építtetett, amely egész évben járta a világot, és összegyűjtötte, amit csak találtak: madarakat, növényeket, mindenféle állatokat és főleg kagylókat”: Desmond és Moore, *Darwin*, 342. oldal.

424.o. „Mivel Hawaii évmilliók óta különálló sziget volt...”: *National Geographic*, „On the Brink: Hawaii's Vanishing Species” (A határon: Hawaii kihalófélben lévő fajai), 1995. szeptember, 2-37. oldal.

425.o. „A gyapjasmadárfélék családjába tartozó, ártalmatlan nagy koa pintyőke...”: Flannery és Schouten, *A Gap in Nature (Rés a természetben)*, 84. oldal.

425.o. „...az utóbbi állat már akkor is olyan ritka volt, hogy összesen egy példányát látta valaha valaki...”: Flannery és Schouten, *A Gap in Nature (Rés a természetben)*, 76. oldal.

426.o. „Az 1990-es évek elejére ezt a számot heti hatszázra emelte”: Easterbrook, A Moment r, . „„ >«, Earth (Egy pillanat a Földön), 558. oldal.@

426.o. „...a valódi adatok ennél valószínűleg nagyobb értéket mutatnak...”: *Washington Post* (újranyomás: Valley News), 1995. november 27., „Report Finds Growing Biodiversity Threat” (Újabb fenyegetés az élővilág sokszínűsége ellen).

426.o. „Egy bolygó, egy kísérlet”: Wilson, *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*, 182. oldal.

BIBLIOGRÁFIA

Aczel, Amir D., *Isten egyenlete (Einstein, a relativitás és a táguló világegyetem) (God's Equation: Einstein, Relativity, and the Expanding Universe)*. Budapest: Akkord, 2004. ford.: Erdős Zsuzsanna

Alberts, Bruce, Dennis Bray, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts és Peter Walter, *Essential Cell Biology: An Introduction to the Molecular Biology of the Cell (A sejt biológiájának alapjai: Bevezetés a sejt molekuláris biológiájába)*. New York és London: Garland Publishing, 1998.

Allen, Oliver E., *Atmosphere (Légkör)*. Alexandria, Va.: Time-Life Books, 1983.

Alvarez, Walter, *T. Rex and the Crater of Doom (A T. Rex és a végzet krátere)*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1997.

Annan, Noel, *The Dons: Mentors, Eccentrics and Geniuses (A profok: Mentorok, különcök és lángelmék)*. London: HarperCollins, 2000.

Ashcroft, Frances, *Life at the Extremes: The Science of Survival (Élet extrém körülmények között: A túlélés tudománya)*. London: HarperCollins, 2000.

Asimov, Isaac, *The History of Physics (A fizika története)*. New York: Walker&Co., 1966.

----"---- *Exploring the Earth and the Cosmos: The Growth and Future of Human Knowledge (A Föld és a kozmosz felfedezése: Az emberi tudás növekedése és jövője)*. London: Penguin Books, 1984.

----"---- *Atom: Journey Across the Subatomic Cosmos (Atom: Utazás a szubatomi kozmoszban)*. New York: Truman Talley/Dutton, 1991.

Atkins, P. W., *The Second Law*. New York: *Scientific American*, 1984.

----"---- *Molecules*. New York: *Scientific American*, 1987.

----"---- *The Periodic Kingdom (A periódusos királyság)*. London: Weidenfeld &Nicolson, 1995.

Attenborough, David, *Élet a Földön: A természet története (Life on Earth: A Natural History)*. Budapest: Novotrade, 1990. ford.: Szilágyi Tibor

----"---- *Az élő bolygó: a Föld mai arculata (The Living Planet: A Portrait of the Earth)*. Budapest: Park, 1994. ford.: Szilágyi Tibor

----"---- *A növények magánélete: a növények viselkedésének természetrajza (The Private Life of Plants: A Natural History of Plant Behaviour)*. Budapest: Aqua, 1995. ford.: Sárközy Elga, Sóskuthy György, Makovecz Benjámin

Baeyer, Hans Christian von, *Taming the Atom: The Emergence of the Visible Microworld (Az atom megszelídítése: a látható mikrovilág megjelenése)*. London: Viking, 1993.

Bakker, Robert T., *The Dinosaur Heresies: New Theories Unlocking the Mystery of the Dinosaurs and their Extinction (A dinoszaurusz-babonák: Új elmé-letek a dinoszauruszok és kihalásuk rejtélyének megoldásáról)*. New York: William Morrow, 1986.

Ball, Philip, H_2O: *A Biography of Water (H_2O: A víz életrajza)*. London: Phoenix/Orion, 1999.

Ballard, Robert D., *The Eternal Darkness: A Personal History of Deep-Sea Exploration (Az örök sötétség: A mélytengeri kutatások személyes története)*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2000.

Barber, Lynn, *The Heyday of Natural History: 1820-1870 (A természetrajz aranykora 1820 és*

1870 között). London: Jonathan Cape, 1980.
Barry, Roger G. és Richard J. Chorley, *Atmosphere, Weather and Climate (Légkör, időjárás és éghajlat)*, 7. kiadás. London: Routledge, 1998.
Biddle, Wayne, *A Field Guide to the Invisible (Útikönyv a láthatatlanba)*.New York: Henry Holt, 1998.
Bodanis, David, *The Body Book*. London: Little, Brown, 1984.
----"---- *The Secret House: Twenty-Four Hours in the Strange and Unexpected World in Which We Spend our Nights and Days (A titkos ház: Huszonnégy óra a különös és váratlan világban, ahol éjszakáinkat és nappalainkat töltjük)*. New York: Simon & Schuster, 1984.
----"---- *The Secret Family: Twenty-Four Hours Inside the Mysterious World of Our Minds and Bodies (A titkos család: Huszonnégy óra elménk és testünk titokzatos világában)*. New York: Simon & Schuster, 1997.
----"---- *E = mc^2: A Biography of the World's Most Famous Equation*. London: Macmillan, 2000.
Bolles, Edmund Blair, *The Ice Finders: How a Poet, a Professor and a Politician Discovered the Ice Age (A jégkeresők: Hogyan fedezte fel a jégkorszakot egy költő, egy professzor és egy politikus)*. Washington D. C: Counterpoint/Perseus, 1999.
Boorse, Henry A., Lloyd Motz és Jefferson Hane Weaver, *The Atomic Scientists: A Biographical History (Az atomtudósok: Egy történet életrajzokkal)*. New York: John Wiley & Sons, 1989.
Boorstin, Daniel J., *The Discoverers (A felfedezők)*. London: Penguin Books, 1986.
----"---- *Cleopatra's Nose: Essays on the Unexpected (Kleopátra orra: Váratlan felfedezések)*. New York: Random House, 1994.
Bracegirdle, Brian, *A History of Microtechnique: The Evolution of the Micro-tome and the Development of Tissue Preparation (A mikrotechnológia története: A metszetvágó és a szövetpreparálás fejlődése)*. London: Heine-mann, 1978.
Breen, Michael, *The Koreans: Who They Are, What They Want, Where Their Future Lies (A koreaiak: Kik ők, mit akarnak, és milyenek a kilátásaik)*. London: Texere, 1998.
Broad, William]., *The Universe Below: Discovering the Secrets of the Deep Sea (Az alattunk lévő világegyetem: A mély tenger titkainak felfedezése)*. New York: Simon & Schuster, 1997.
Brock, William H., *The Norton History of Chemistry (A vegytan története a Norton kiadótól)*. London: W. W. Norton, 1993.
Brockman, John és Katinka Matson (szerk.), *How Things Are: A Science Tool-Kitfor the Mind (A dolgok állása: Elméleti természettudományos eszközkészlet)*. London: Weidenfeld & Nicolson, 1995.
Brookes, Martin, *Fly: The Unsung Hero of Twentieth-Century Science (A légy: A XX. századi tudomány megénekeletlen hőse)*. London: Phoenix, 2002.
Brown, Guy, *The Energy of Life (Az élet energiája)*. London: Flamingó/ HarperCollins, 2000.
Browne, Janet, *Charles Darwin: A Biography (Charles Darwin életrajza)*, 1. kötet. London: Jonathan Cape, 1995.
Burenhult, Göran (szerk.), *The First Americans: Human Origins and History to 10,000 BC (Az első amerikaiak: Az ember eredete és története Kr. e. 10 000-ig)*. London: HarperCollins, 1993.
Cadbury, Deborah, Terrible Lizard: *The First Dinosaur Hunters and the Birth of a New Science (Szörnyű gyík: Az első dinoszaurusz-vadászok és egy új tudomány születése)*. New York:

Henry Holt, 2000.
Calder, Nigel, *Einstein's Universe (Einstein világegyeteme)*. London: BBC Books, 1979.
----"---- *The Comet Is Coming! The Feverish Legacy ofMr. Halley (Jön az üstökös! Mr. Halley izgalmas hagyatéka)*. London: BBC Books, 1980.
Canby, Courtlandt (szerk.), *The Epic of Man (Az ember eposza)*. New York: Time/Life, 1961.
Carey, John (szerk.), *The Faber Book of Science (A tudomány könyve a Faber kiadó kiadásában)*. London: Faber, 1995.
Chorlton, Windsor, *Ice Ages (Jégkorszakok)*. *New York: Time-Life Books, 1983.*
Christianson, Gale E.*, In the Presence of the Creator: Isaac Newton and his Times (A Teremtő jelenlétében: Isaac Newton és kora)*. New York: Free Press/Macmillan, 1984.
----"---- *Edwin Hubble: Mariner of the Nebulae (Edwin Hubble, a csillagködök tengerésze)*. Bristol, England: Institute of Physics Publishing, 1995.
Clark, Ronald W., *The Huxleys (A Huxleyk)*. London: Heinemann, 1968.
----"---- *The Survival of Charles Darwin: A Biography of a Man and an Idea (Charles Darwin, a túlélő: Egy ember és egy gondolat életrajza)*. London: Daedalus Books, 1985.
----"---- *Einstein: The Life and Times (Az élet és az idő)*. London: Harper-Collins, 1971.
Coe, Michael, Dean Snow és Elizabeth Benson, *Az ősi Amerika atlasza (Atlas of Ancient America)*. Budapest: Helikon 1997. ford.: Kóthay Katalin és Szeljak György
Colbert, Edwin H., *The Great Dinosaur Hunters and their Discoveries (A nagy dinoszaurusz-vadászok és felfedezéseik)*. New York: Dover Publications, 1984.
Cole, K. C, *First You Butid a Cloud: And Other Reflections on Physics as a Way of Life (Először felhőt kell építeni, és más elmélkedések a fizikáról, mint életmódról)*. San Diego: Harvest/Harcourt Brace, 1999.
Conard, Henry S., *How to Know the Mosses and Liverworts (Hogyan ismerjük fel a mohákat és májfüveket)*. Dubuque, Iowa: William C. Brown Co., 1956.
Conniff, Richard, *Spineless Wonders: Strange Tales from the Invertebrate World (Gerinctelen csodák: Különös történetek a gerinctelen világból)*. London and New York: Henry Holt, 1996.
Corfield, Richard, *Architects of Eternity: The New Science of Fossils (Az örökkévalóság építészei: Az őskövületek új tudománya)*. London: Headline, 2001.
Coveney, Peter és Roger Highfield, *The Arrow of Time: The Quest to Solve Sciences Greatest Mystery (Az idő nyila: A tudomány legnagyobb rejtélyének megoldása)*. London: Flamingo, 1991.
Cowles, Virginia, *The Rothschilds: A Family of Fortune*. London: Futura, 1975.
Crick, Francis, *Az élet mikéntje, eredete és természete (Life Itself: Its Origin and Nature)*. Budapest: Gondolat, 1989. ford.: Büki Kálmán
----"---- *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery (Micsoda őrült foglalatosság: Tudományos felfedezések személyes nézőpontból)*. London: Penguin Press, 1990.
Cropper, William H., *Great Physicists: The Life and Times of Leading Physicists from Galileo to Hawking (Nagy fizikusok: A legnagyobb fizikusok élete és kora Galileitől Hawkingig)*. Oxford: Oxford University Press, 2002.

Crowther, J. G., *Scientists of the Industrial Revolution (Az ipari forradalom tudósai)*. London: Cresset, 1962.

Darwin, Charles, *A fajok eredete természetes kiválasztás útján vagy a létért való küzdelemben előnyhöz jutott fajták fennmaradása (On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life)*. Budapest: Akadémia, Művelt Nép, 1955. ford.: Mikes Lajos

Davies, Paul, *Az ötödik csoda: az élet eredetének nyomában (The Fifth Miracle: The Search for the Origin of Life)*. Budapest: Vince, 2000. ford.: Kertész Balázs

Dawkins, Richard, *A vak órásmester: gondolatok a darwini evolúcióelméletről (The Blind Watchmaker)*. Budapest: Kossuth, 2005. ford.: Síklaki István, Simó György, Szentesi István

----"---- *Folyam az Édenkertből: darwinista elmélkedések az életről (River Out of Eden: A Darwinian View of Life)*. Budapest: Kulturtrade, 1996. ford.: Béresi Csilla

----"---- *A valószínűtlenség hegyének meghódítása (Climbing Mount Improbable)*. Budapest: Műszaki, 2001. ford.: Ortmann-né Ajkai Adrienne

Dean, Dennis R., *James Hutton and the History of Geology (James Hutton és a geológia története)*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1992.

de Duve, Christian, *A Guided Tour of the Living Cell (Társasutazás az élő sejtbe),* 2 kötet. New York: *Scientific American*/Rockefeller University Press, 1984.

Dennett, Daniel C, *Darwin veszélyes ideája (Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life)*. Budapest: Typotex, 1998.

Dennis, Jerry, *The Bird in the Waterfall: A Natural History of Oceans, Rivers and Lakes (Madár a vízesésben: Az óceánok, folyók és tavak természetrajza)*. London and New York: HarperCollins, 1996.

Desmond, Adrian és James Moore, *Darwin.* London: Penguin Books, 1992.

Dewar, Elaine, *Bones: Discovering the First Americans*. Toronto: Random House Canada, 2001.

Diamond, Jared, *Háborúk, járványok, technikák: a társadalmak fátumai (Guns, Germs and Steel: The Fates of Human Societies)*. Budapest: Typotex, 2000. ford.: Födő Sándor

Dickinson, Matt, *The Other Side of Everest: Climbing the North Face through the Killer Storm (A Mount Everest másik arca: Az északi emelkedő megmászása egy gyilkos viharban)*. New York: Times Books, 1997.

Drury, Stephen, Stepping Stones: *The Making of our Home World (Lépcsőfokok: Világunk elkészítése)*. Oxford: Oxford University Press, 1999.

Durant, Will és Ariel, *The Age of Louis XIV (XIV Lajos kora)*. New York: Simon & Schuster, 1963.

Dyson, Freeman, *Disturbing the Universe (A világegyetem megzavarása)*. London és New York: Harper & Row, 1979.

Easterbrook, Gregg, *A Moment on the Earth: The Coming Age of Environ-mental Optimism (Egy pillanat a Földön: A környezettel kapcsolatos optimizmus eljövendő kora)*. London: Penguin, 1995.

Ebbing, Darrell D., *General Chemistry (Általános vegytan)*. Boston: Houghton Mifflin, 1996.

Elliott, Charles, *The Potting-Shed Papers: On Gardens, Gardeners and Garden History (A melegházi akták: Kertekről, kertészekről és a kertek történetéről)*. Guilford, Conn.: Lyons Press, 2001.

Engel, Leonard, *The Sea (A tenger)*. New York: Time-Life Books, 1969.
Erickson, Jon, *Plate Tectonics: Unravelling the Mysteries of the Earth (Lemeztektonika: A Föld rejtélyeinek megfejtése)*. London and New York: Facts on File, 1992.
Fagan, Brian M., *The Great Journey: The Peopling of Ancient America (A nagy utazás: Az ősi Amerika benépesülése)*. London: Thames & Hud-son, 1987.
Fell, Barry, *America B. C., Ancient Settlers in the New World (A Krisztus előtti Amerika: Az Újvilág ősi hódítói)*. London: Random House, 1976.
----"---- *Bronze Age America (Amerika a bronzkorszakban)*. London and Boston: Little, Brown, 1982.
Ferguson, Kitty, *Measuring the Universe: The Historical Quest to Quantify Space (A világegyetem megmérése: Az űr kvantálásának története)*. London: Headline, 1999.
Ferris, Timothy, *A világmindenség. Mai kozmológiai elméletek (The Whole Sheebang: A State of the Universe[s])*, Budapest: Typotex, 2005.
----"---- *The Whole Shebang: A State of the Universe(s) Report (Az egész mindenség: A világegyetem(ek) állapota)*. London: Phoenix, 1998.
----"---- *Seeing in the Dark: How Backyard Stargazers Are Probing Deep Space and Guarding Earth from Interplanetary Peril (Sötétben látók: Hogyan vizsgálják az amatőr csillagászok a távoli űrt, és hogyan védik meg a Földet a bolygóközi veszélyektől)*. New York: Simon & Schuster, 2002.
----"---- *Coming of Age in the Milky Way (Nagykorúság a Tejúton)*. London: Harper Collins, 2003.
Feynman, Richard R, Hat könnyed előadás, A fizika alapjainak magyarázata (Six easy pieces), Budapest: Akkord-Park, 2000.
Fisher, Richard V., Grant Heiken és Jeffrey B. Hulen, *Volcanoes: Crucibles of Change (Vulkánok: A változás olvasztótégelyei)*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1997.
Flannery, Timothy, *The Future Eaters: An Ecological History of the Australasian Lands and People (A jövő felfalói: Az Ausztrália, Ázsia és az ott élő népek ökológiai története)*. London: W. W. Norton, 1995.
----"---- *The Eternal Frontier: An Ecological History of North America and its*
Peoples (Az örök határvidék: Észak-Amerika és az ott élő népek ökológiai története). London: Heinemann, 2001.
----"---- Peter Schouten, *A Gap in Nature: Discovering the World's Extinct*
Animals (Rés a természetben: A világ kihalt állatainak felfedezése). London: Heinemann, 2001.
Fortey, Richard, *Life: An Unauthorised Biography (Az élet: Egy nem hivatalos életrajz)*. London: Flamingo/HarperCollins, 1998.
----"---- *Trilobite! Eyewitness to Evolution (A háromkaréjú rák: az evolúció szemtanúja)*. London: HarperCollins, 2000.
Frayn, Michael, *Copenhagen (Koppenhága)*. London: Methuen, 1998; New York: Anchor Books, 2000.
Gamow, George és Russell Stannard, *The New World of Mr. Tompkins (Mr. Tompkins új világa)*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
Gawande, Atul, *Complications: A Surgeon's Notes on an Imperfect Science (Szövődmények: Egy sebész feljegyzései egy tökéletlen tudományról)*. New York: Metropolitan Books/Henry Holt,

2002.
Giancola, Douglas C, *Physics: Principles with Applications (Fizika: alapelvek és alkalmazásuk)*. London: Prentice-Hall, 1997.
Gjertsen, Derek, *The Classics of Science: A Study of Twelve Enduring Scientific Works (A tudomány klasszikusai: Tanulmány tizenkét időtálló tudományos műről)*. New York: Lilian Barber Press, 1984.
Godfrey, Laurie R. (szerk.), *Scientists Confront Creationism (Tudósok a krea-cionizmus ellen)*. New York: W. W. Norton, 1983.
Goldsmith, Donald, *The Astronomers (A csillagászok)*. New York: St Martin's Press, 1991.
Gordon, Mrs., *The Life and Correspondence of William Buckland (William Buckland élete és levelezése)*, D. D., F. R. S. London: John Murray, 1894.
Gould, Stephen Jay, *Ever since Darwin: Reflections in Natural History (Darwintól fogva: Természetrajzi elmélkedések)*. London: Deutsch, 1978.
----"---- *A panda hüvelykujja (The Panda's Thumb: More Reflections in Natural History)*. Budapest: Európa, 1990 ford.: Bacsóné Módos Magdolna, Rózsahegyi István
----"---- *Hen's Teeth and Horse's Toes (Tyúkfog és lólábujj)*. London: Penguin Books, 1984.
----"---- *The Flamingo's Smile: Reflections in Natural History (A flamingó mosolya: Természetrajzi elmélkedések)*. New York: W. W. Norton, 1985.
----"---- *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History (Csodálatos élet: A Burgess-pala és a történelem természete)*. London: Hutchinson Radius, 1990.
----"---- *Bully for Brontosaurus: Reflections in Natural History (A Brontosaurus mázlija: Természetrajzi elmélkedések)*, London: Hutchinson Radius, 1991.
----"---- *Times Arrow, Time's Cycle: Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time (Az idő nyila, az idő ciklusa: Mítosz és metafora a geológiai idő felfedezésében)*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1987.
– – -----– (szerk.), *Az élet könyve (The Book of Life)*. Budapest: Officina Nova, 1998. ford.: Káldos Zsolt
----"---- *Eight Little Piggies: Reflections in Natural History (Nyolc kismalac: Természetrajzi elmélkedések)*. London: Penguin, 1994.
----"---- *Dinosaur in a Haystack: Reflections in Natural History (Dinoszaurusz a szénakazalban: Természetrajzi elmélkedések)*. London: Jonathan Cape, 1996.
----"---- *Leonardo's Mountain of Clams and the Diet of Worms: Essays on Natural History (Leonardo kagylóhegyei és a férgek étrendje: Természetrajzi dolgozatok)*. London: Jonathan Cape, 1998.
----"---- *The Lying Stones of Marrakech: Reflections in Natural History (Marrakech hazudós kövei: Utolsó előtti természetrajzi elmélkedések)*. London: Jonathan Cape, 2000.
Green, Bill, Water, *Ice and Stone: Science and Memory on the Antarctic Lakes (Víz, jég és kő: Az antarktiszi tavak mint a tudomány memóriája)*. New York: Harmony Books, 1995.
Gribbin, John, *In the Beginning: The Birth of the Living Universe (Kezdetben: Az élő világegyetem születése)*. London: Penguin, 1994.
----"---- *A természettudományokról mindenkinek: a világmindenség, az élet meg minden (Almost Everyone's Guide to Science: The Universe, Life and Everything)*. Akkord, 2002. ford.: Münz Márton, Simon Tamás

----"---- és Mary Gribbin, *Being Human: Putting People in an Evolutionary Perspective (Embernek lenni: Az ember az evolúció szempontjából)*. London: Phoenix/Orion, 1993.
----"---- *Tire on Earth: Doomsday, Dinosaurs and Humankind (Földi tűz: Végítélet, dinoszauruszok és az emberi nem)*. New York: St Martin's Press, 1996.
----"---- *Ice Age (Jégkorszak)*. London: Allén Lane, 2001.
----"---- és Jeremy Cherfas, *The First Chimpanzee: In Search of Human Origins (Az első csimpánz: Az ember eredetének kutatása)*. London: Penguin Books, 2001.
Grinspoon, David Harry, *Venus Revealed: A New Look Below the Clouds of our Mysterious Twin Planet (A Vénusz leleplezett titkai: Új szemmel nézünk körül titokzatos ikerbolygónk felhői alatt)*. Reading, Mass.: Helix/ Addison-Wesley, 1997.
Guth, Alan, *The inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins (A felfúvódó világegyetem: A kozmikus eredet új elméletének keresése)*. London: Jonathan Cape, 1997.
Haldane, J. B. S., *Adventures of a Biologist (Egy biológus kalandjai)*. New York: Harper & Brothers, 1937.
----"---- *What is Life? (Mi az élet?)* New York: Boni & Gaer, 1947.
Hallam, A., *Great Geological Controversies (Nagy geológiai viták)*, 2. kiadás. Oxford: Oxford University Press, 1989.
Hamblyn, Richard, *The Invention of Clouds: How an Amateur Meteorologist Forged the Language of the Skies (A felhők feltalálása: Hogyan imitálta egy műkedvelő meteorológus az egek nyelvét)*. London: Picador, 2001.
Hamilton-Paterson, James, *The Great Deep: The Sea and its Thresholds (A nagy mélység: A tenger és küszöbjei)*. London: Random House, 1992.
Hapgood, Charles H., *Earth's Shifting Crust: A Key to Some Basic Problems of Earth Science (Az elmozduló földkéreg: Megoldás a földtudományok néhány alapvető problémájára)*. New York: Pantheon Books, 1958.
Harrington, John W., *Dance of the Continents: Adventures with Rocks and Time (A földrészek tánca: Kalandok sziklákkal és az idővel)*. Los Angeles: J. P. Tarcher, Inc., 1983.
Harrison, Edward, *Darkness at Night: A Riddle of the Universe. (Éjjeli sötétség: A világegyetem nagy rejtélye)* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1987.
Hartmann, William K. *The History of Earth: An Illustrated Chronicle of an Evolving Planet (A Föld története: Egy fejlődő bolygó képes krónikája)*. London: Workman Publishing, 1991.
Hawking, Stephen, *Az idő rövid története az ősrobbanástól a fekete lyukakig (A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes)*. Budapest: Akkord, 2003. ford.: Molnár István, Egri Győző
----"---- *A világegyetem dióhéjban (The Universe in a Nutshell)*. Budapest: Akkord, 2002. ford.: Both Előd
Hazen, Rombert M. és James Trefil, *Science Matters: Achieving Scientific Literacy (Tudományos alapismeretek)*. New York: Doubleday, 1991.
Heiserman, David L., *Exploring Chemical elements and their compounds (A vegyi elemek és vegyületeik felfedezése)*. Blue Ridge Summit, Pa.: TAB Books/McGraw Hill, 1992.
Hitchcock, A. S., *Manual of the Grasses of the United States (Az Egyesült Államok fűfajainak ké-*

zikönyve), 2. kiadás. London: Peter Smith, 1971.
Holmes, Hannah, *The Secret Life of Dust (A por titkos élete)*. London: John Wiley & Sons, 2001.
Holmyard, E.J., *Makers of Chemistry (A vegyészet megteremtői)*. Oxford: Clarendon Press, 1931.
Horwitz, Tony, *Blue Latitudes: Boldly Going Where Captain Cook Has Gone Before (Kék szélességi fokok: Vakmerő utazás Cook kapitány nyomában)*. London: Bloomsbury, 2002.
Hough, Richard, *Captain James Cook (James Cook kapitány)*. London: Coronet, 1995.
Jardine, Lisa, *Ingenious Pursuits: Building the Scientific Revolution (Elmés foglalatosságok: A tudományos forradalom felépítése)*. London: Little, Brown, 1999.
Johanson, Donald és Blake Edgar, *From Lucy to Language (Lucytől a nyelvig)*. London: Weidenfeld & Nicolson, 2001.
Jolly, Alison, *Lucy's Legacy: Sex and Intelligence in Human Evolution (Lucy öröksége: A nemek és az intelligencia az emberi fejlődés történetében)*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1999.
Jones, Steve, *Almost Like a Whale: The Origin of Species Updated (Már majdnem bálna: A fajok eredete mai szemmel)*. London: Doubleday, 1999.
Judson, Horace Freeland, *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology (A teremtés nyolcadik napja: A biológia forradalmárai)*. London: Penguin, 1995.
Junger, Sebastian, *Viharzóna: halászok a tenger ellen: igaz történet (The Perfect Storm: A True Story of Men Against the Sea)*. Budapest: Park, 2000. ford.: Szentgyörgyi József
Jungnickel, Christa és Russell McCormmach, *Cavendish: The Experimental Life (Cavendish: A kísérleti élet)*. Bucknell, Pa: Bucknell Press, 1999.
Kaku, Michio, *Hipertér: A párhuzamos univerzumok, az időelhajlás és a tizedik dimenzió világa (Hyperspace: A Scientific Odyssey through parallel universe, time Warps, and the Tenth Dimension)*, Budapest: Akkord, 2006.
Kastner, Joseph, *A Species of Eternity (Egy faj az örökkévalóságból)*. New York: Knopf, 1977.
Keller, Evelyn Fox, *The Century of the Gene (A gén évszázada)*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2000.
Kemp, Peter, *The Oxford Companion to Ships and the Sea (A hajók és a tenger Oxford kézikönyve)*. London: Oxford University Press, 1979.
Kevles, Daniel J., *The Physicists: The History of a Scientific Community in Modern America (A fizikusok: Egy tudományos közösség története a modern Amerikában)*. London: Random House, 1978.
Kitcher, Philip, *Abusing Science: The Case against Creationism (A tudomány megcsúfolása: Eljárás a kreacionizmus ellen)*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1982.
Kolata, Gina, Flu: *The Story of the Great Influenza Pandemic of 1918 and the Search for the Virus that Caused It (Influenza: Az 1918-as nagy pan-démia és az azt okozó vírus keresésének története)*. London: Pan, 2001.
Krebs, Robert E., *The History and Use of our Earth's Chemical Elements (Földünk vegyi elemeinek története és felhasználása)*. Westport, Conn.: Greenwood, 1998.
Kunzig, Robert, *The Restless Sea: Exploring the World Beneath the Waves (A nyugtalan tenger: A hullámok alatti világ felfedezése)*. New York: W. W. Norton, 1999.
Kurlansky, Mark, Cod: *A Biography of the Fish That Changed the World (Tőkehal: Egy olyan hal életrajza, ami megváltoztatta a világot)*. London: Vintage, 1999.

Leakey, Richard, *Az emberiség eredete (The Origin of Humankind)*. Budapest: Kulturtrade, 1995. ford.: Béresi Csilla
----"---- és Roger Lewin, *Fajunk eredete (Origins)*. Budapest: Gondolat, 1986. ford.: Somlyó Bálint
----"---- *The Sixth Extinction: Biodiversity and its Survival (A hatodik kihalás: A biodiverzitás és ennek fennmaradása)*. London: Weidenfeld & Nicolson, 1996.
Leicester, Henry M., *The Historical Background of Chemistry (A kémia történelmi háttere)*. New York: Dover, 1971.
Lemmon, Kenneth, *The Golden Age of Plant Hunters (A növényvadászok aranykora.)* London: Phoenix House, 1968.
Lewin, Roger, *Bones of Contention: Controversies in the Search for Human Origins (Csontok viszálya: Viták az ember eredetének kutatásáról)*, 2. kiadás. Chicago: University of Chicago Press, 1997.
Lewis, Cherry, *The Dating Game: One Man's Search for the Age of the Earth (A kormeghatározási játék: Egy ember keresi a Föld korát)*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
Lewis, John S., *Rain of Iron and Ice: The Very Real Threat of Comet and Asteroid Bombardment (Vas- és jégeső: Az üstökösök és kisbolygók becsapódásának nagyon is valóságos veszélye)*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1996.
Lewontin, Richard, *It Ain't Necessarily So: The Dream of the Human Genome and Other Illusions (Nem biztos, hogy úgy van: Az emberi genomról szőtt álmok és más illúziók)*. London: Granta, 2001.
Little, Charles E., *The Dying of the Trees: The Pandemic in America's Forests (A fák halála: Pandémia Amerika erdőiben)*. New York: Viking, 1995.
Lynch, John, *Az időjárás (The Weather)*. Pécs: Alexandra, 2004. ford.: Trócsányi Balázs
McGhee, Jr, George R., *The Late Devonian Mass Extinction: The Frasnian/ Famennian Crisis (A késő devon kori tömeges fajkihalás)*. New York: Columbia University Press, 1996.
McGrayne, Sharon Bertsch, *Prometheans in the Lab: Chemistry and the Making of the Modern World (Titánok a laborban: A vegytan és a modern világ megteremtése)*. London: McGraw-Hill, 2002.
McGuire, Bill, *A Guide to the End of the World: Everything You Never Wan-ted to Know (Útikalauz a világvégéhez: Minden, amit soha nem akartál megtudni)*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
McKibben, Bill, *The End of Nature (A természet vége)*. London: Viking, 1990.
McPhee, John, *Basin and Range (Medence és hegylánc)*, New York: Farrar, Straus & Giroux, 1980.
----"---- *In Suspect Terrain (Gyanús terepen)*. New York: Noonday Press, Farrar, Straus & Giroux, 1983.
----"---- *Rising from the Plains (Felemelkedés a síkságról)*. London: Farrar, Straus & Giroux, 1987.
----"---- *Assembling California (Rakjuk ki Kaliforniát!)*. New York Farrar, Straus & Giroux, 1993.
McSween, Harry Y, if]., *Stardust to Planets: A Geological Tour of the Solar System (A csillagportól a bolygókig: A Naprendszer geológiai szempontból)*. New York: St Martin's Press,

1993.
Maddox, Brenda, Rosalind Franklin: *The Dark Lady of DNA (Rosalind Franklin: A DNS mögött álló sötét hölgy)*. London: HarperCollins, 2002.
Margulis, Lynn és Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors (Mikrokozmosz: Mikroba őseink négymilliárd éves fejlődése)*. London: HarperCollins, 2002.
Marshall Nina L., *Mosses and Lichens (Moha és zuzmó)*. New York: Doubleday, Page & Co., 1908.
Matthiessen, Peter, *Wildlife in America (Amerikai vadvilág)*. London: Penguin Books, 1995.
Moore, Patrick, *Fireside Astronomy: An Anecdotal Tour through the History and Lore of Astronomy (Csillagászati csevegés: Anekdotákon át a csillagászat történetén és tudományán)*. Chichester: John Wiley & Sons, 1992.
Moorehead, Alan, *Darwin and the Beagle (Darwin és a Beagle)*. London: Hamish Hamilton, 1969.
Morowitz, Harold]., *The Thermodynamics of Pizza (A pizza termodinamikája)*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, 1991.
Musgrave, Toby, Chris Gardner and Will Musgrave, *The Plant Hunters: Two Hundred Years of Adventure and Discovery around the World (A növényvadászok: Kétszáz év kaland és felfedezés világszerte)*. London: Ward Lock, 1999.
Norton, Trevor, *Stars beneath the Sea: The Extraordinary Lives of the Pioneers of Diving (Tenger alatti csillagok: A búvárkodás úttörőinek rendkívüli élete)*. London: Arrow Books, 2000.
Novacek, Michael, *Time Traveler: In Search of Dinosaurs and Other Fossils from Montana to Mongoilia (Időutazó: Dinoszauruszok és más őskövületek keresése Montanától Mongóliáig)*. New York: Farrar, Straus & Giroux, 2001.
Nuland, Sherwin B., *How We Live: The Wisdom of the Body (Hogyan élünk: A test bölcsessége)*. London: Vintage, 1998.
Officer, Charles és Jake Page, *Tales of the Earth: Paroxysms and Perturbations of the Blue Planet (Mesék a Földről: Katasztrófák a kék bolygón)*. New York: Oxford University Press, 1993.
Oldroyd, David R., *Thinking about the Earth: A History of ideas in Geology (Gondolatok a Földről: A geológiai elméletek története)*. London: Athlone, 1996.
Oldstone, Michael B. A., *Viruses, Plagues and History (Vírusok, járványok, történelem)*. New York: Oxford University Press, 1998.
Overbye, Dennis, *Lonely Hearts of the Cosmos: The Scientific Quest for the Secret of the Universe (A kozmosz magányos szívei: a világegyetem titkának tudományos kutatása)*. London: Macmillan, 1991.
Ozima, Minoru, *The Earth: Its Birth and Growth (A Föld: Születése és növekedése)*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.
Parker, Ronald B., *Inscrutable Earth: Explorations in the Science of Earth (A kifürkészhetetlen Föld: Geológiai kutatások)*. New York: Charles Scribner's Sons, 1984.
Pearson, John, *Serpents and Stags: The Story of the House of Cavendish and the Dukes of Devonshire (Kígyók és szarvasbikák: A Cavendish-ház és a devonshire-i hercegek története)*.

London: Macmillan, 1983.
Peebles, Curtis, Asteroids: *A History (A kisbolygók története)*. Washington: Smithsonian Institution Press, 2000.
Plummer, Charles C. és David McGeary, *Physical Geology (Fizikai geológia)*. London: McGraw-Hill Education, 1997.
Pollack, Robert, *Signs of Life: The Language and Meanings of DNA (Életjelek: A DNS nyelve és jelentései)*. London: Penguin Books, 1995.
Powell, James Lawrence, *Night Comes to the Cretaceous: Dinosaur Extinction and the Transformation of Modern Geology (A kréta kor alkonya: A dinoszauruszok kihalása és a modern geológia átalakulása)*. New York: W. H. Freeman, 1998.
----"---- *Mysteries of Terra Firma: The Age and Evolution of the Earth (A szárazföld rejtélyei: A Föld kora és fejlődése)*. New York: Free Press/Simon & Schuster, 2001.
Psihoyos, Louie, John Knoebber közreműködésével, *Hunting Dinosaurs (Dinoszaurusz-vadászat)*. London: Cassell Illustrated, 1995.
Putnam, William Lowell, *The Worst Weather on Earth (A Föld legrosszabb időjárása)*. London: Mountaineers Books, 1991.
Quammen, David, *The Song of the Dodo (A dodó dala)*. London: Hutchinson, 1996.
----"---- *The Boilerplate Rhino: Nature in the Eye of the Beholder (Az orrszarvú, ahogyan azt az irányított sztereotip sajtó elképzeli: Természet a megfigyelő szemében)*. London: Touchstone, 2001.
----"---- *Monster of God (Isten szörnyetege)*. New York: W. W. Norton, 2003.
Rees, Martin, *Csak hat szám: az univerzumot kialakító erők (Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe)*. Budapest: Vince, 2001. ford.: Gajzágó Éva
Ridley, Matt, *A sötét bábok királynője (a szex és az emberi természet evolúciója) (The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature)*. Budapest: Akkord, 2004. ford.: Huszár Tamás
----"---- *Génjeink: egy faj önéletrajza 23 fejezetben (Genome: The Autobiography of a Species)*. Budapest: Akkord, 2002. ford.: Huszár Tamás és Simon Tamás
Ritchie, David, *Superquakel Why Earthquakes Occur and When the Big One Will Hit Southern California (Szuperföldrengés: Miért keletkeznek földrengések, és mikor rázza meg egy hatalmas ilyen Dél-Kaliforniát)*. London: Random House, 1989.
Rose, Steven, *Lifelines: Biology, Freedom, Determinism (Életvonalak: Biológia, szabadság, determinizmus)*. London: Penguin, 1997.
Rudwick, Martin J. S., *The Great Devonian Controversy: The Shaping ofSci-entific Knowledge among Gentlemanly Specialists (A nagy devonkori vita: A tudományos ismeretek alakulása az úri szakértők között)*. Chicago: University of Chicago Press, 1985.
Sacks, Oliver, *Antropológus a Marson (An Anthropologist on Mars: Seven Paradoxical Tales)*. Budapest: Osiris, 2004. ford.: Racsmány Mihály
----"---- *Oaxaca Journal (Oaxacai napló)*. London: *National Geographic*, 2002.
Sagan, Carl, *Cosmos (Kozmosz)*. London: Random House, 1980.
----"---- és Ann Druyan, *Comet (Üstökös)*. London: Random House, 1985.
Sagan, Dorion és Lynn Margulis, *Garden of Microbial Delights: A Practical Guide to the Subvisible World (A mikrobaörömök kertje: Gyakorlati útmutató egy láthatatlan világba)*. Boston: J. Harcourt Brace Jovanovich, 1988.

Sayre, Anne, *Rosalind Franklin and DNA (Rosalind Franklin és a DNS)*. London: W. W. Norton, 2002.
Schneer, Cecil J. (szerk.), *Toward a History of Geology (Egy geológia történet felé)*. London: MIT Press, 1970.
Schopf, J. William, *Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils (Az élet bölcsője: A Föld legrégebbi őskövületeinek felfedezése)*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1999.
Schultz, Gwen, *Ice Age Lost (Az elveszett jégkorszak)*. Garden City, NY: Anchor Press/Doubleday, 1974.
Schwartz, Jeffrey H., *Sudden Origins: Fossils, Genes and the Emergence of Species (Hirtelen eredetek: Őskövületek, gének, és a fajok kialakulása)*. New York: John Wiley & Sons, 1999.
Semonin, Paul, *American Monster: How the Nation's First Prehistoric Creature Became a Symbol of National Identity (Amerikai szörnyeteg: Hogyan vált a nemzet első őslénye nemzeti jelképpé)*. New York: New York University Press, 2000.
Shore, William H. (szerk.), *Mysteries of Life and the Universe (Az élet és a világegyetem rejtélyei)*. San Diego: Harvest/Harcourt Brace Be Co., 1992.
Silver, Brian, *The Ascent of Science (A tudomány felemelkedése)*. New York: Solomon/Oxford University Press, 1998.
Simpson, George Gaylord, *Fossils and the History of Life (Az őskövületek és az élet története)*. New York: Scientific American, 1983.
Smith, Anthony, *The Weather: The Truth about the Health of our Planet (Az időjárás: Bolygónk valódi egészségi állapota)*. London: Hutchinson, 2000.
Smith, Robert B. és Lee J. Siegel, *Windows into the Earth: The Geologic Story of Yellowstone and Grand Teton National Parks (Ablakok a Föld mélyébe: A Yellowstone és Grand Teton nemzeti parkok geológiai története)*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
Snow, C. R, *Variety of Men (Sokféle ember)*. London: Macmillan, 1967.
----"---- *The Physicists (A fizikusok)*. London: House of Stratus, 1979.
Snyder, Carl H., *The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things (A közönséges dolgok rendkívüli összetétele)*. London: John Wiley & Sons, 1995.
Stalcup, Brenda (szerk.), *Endangered Species: Opposing Viewpoints (Veszélyeztetett fajok: Ellentétes nézetek)*. San Diego: Greenhaven, 1996.
Stanley, Steven M., *Extinction (A fajok kihalása)*. New York: Scientific American, 1987.
Stark, Peter, Last Breath: *Cautionary Tales from the Limits of Human Endu-rance (Az utolsó lehelet: Elővigyázatosságra intő mesék az emberi tűrőképesség határairól)*. New York: Ballantine Books, 2001.
Stephen, Sir Leslie és Sir Sidney Lee (szerk.), *Dictionary of National Biography (Nemzeti életrajzi lexikon)*. Oxford: Oxford University Press, 1973.
Stevens, William K., *The Change in the Weather: People, Weather, and the Science of Climate (Időjárás-változás: Az emberek, az időjárás és az éghajlat tudománya)*. New York: Delacorte, 1999.
Stewart, Ian, *A természet számai. A matematikai képzelet irreális realitása (Nature's Numbers: Discovering Order and Pattern in the Universe),* Budapest: Vince, 1999.
Strathern, Paul, *Mendeleyev's Dream: The Quest for the Elements (Mengyelejev álma: Az elemek*

felkutatása). London: Penguin Books, 2001.
Sullivan, Walter, *Landprints (Földlenyomatok)*. New York: Times Books, 1984.
Sulston, John és Georgina Ferry, *The Common Thread: A Story of Science, Politics, Ethics and the Human Genome (A közös szál: A tudomány, politika, etika és az emberi genotípus története)*. London: Bantam Press, 2002.
Swisher III, Carl C., Garniss H. Curtis és Roger Lewin, *Java Man: How Two Geologists' Dramatic Discoveries Changed our Understanding of the Evolutionary Path to Modern Humans (A jávai ember: Hogyan változtatták meg két geológus drámai felfedezései a mai emberhez vezető útról alkotott képünket)*. London: Little, Brown, 2001.
Sykes, Bryan, *Éva hét leánya (The Seven Daughters of Eve)*. Budapest: Európa, 2002. ford.: Komáromy Rudolf
Tattersall, Ian, *The Human Odyssey: Four Million Years of Human Evolution (Az emberi Odüsszeia: Az ember fejlődésének négymillió éve)*. New York: Prentice-Hall, 1993.
----"---- *The Monkey in the Mirror: Essays on the Science of What Makes Us Human (A majom a tükörben: tanulmányok annak tudományáról, amitől emberek vagyunk)*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
----"---- és Jeffrey Schwartz, *Extinct Humans (Kihalt emberek)*. Boulder, Colo.: Westview/Perseus, 2001.
Thackray, John és Bob Press, *The Natural History Museum: Nature's Trea-surehouse (A Természetrajzi Múzeum: A természet kincsesháza)*. London: Natural History Museum, 2001.
Thomas, Gordon és Max Morgan Witts, *The San Francisco Earthquake (A San Franciscó-i földrengés)*. London: Souvenir, 1971.
Thomas, Keith, *Man and the Natural World: Changing Attitudes in England, 1500-1800 (Az ember és a természet: A hozzáállás változásai Angliában 1500 és 1800 között)*. London: Penguin Books, 1984.
Thompson, Dick, *Volcano Cowboys: The Rocky Evolution of a Dangerous Science (Vulkánlovagok: Egy veszélyes tudomány göröngyös fejlődése)*. New York: St Martin's Press, 2000.
Thorne, Kip S., *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy (Fekete lyukak és időutazások: Einstein lehetetlen hagyatéka)*. London: Picador, 1994.
Tortora, Gerard J. és Sandra Reynolds Grabowski, *Principles of Anatomy and Physiology (Az anatómia és az élettan alapelvei)*. London: John Wiley &Sons, 1999.
Trefil, James, *The Unexpected Vista: A Physicist's View of Nature (A váratlan távlat: Egy fizikus természetszemlélete)*. New York: Charles Scribner's Sons, 1983.
----"---- *Meditations at Sunset: A Scientist Looks at the Sky (Alkonyati elmélkedések: Egy fizikus az égre tekint)*. New York: Charles Scribner's Sons, 1987.
----"---- *Meditations at 10,000 Feet: A Scientist in the Mountains (Tűnődések 10000 láb magasságban: Egy tudós a hegyekben)*. New York: Charles Scribner's Sons, 1987.
----"---- *101 Things You Don't Know About Science and No One Else Does Either (101 dolog, amit nem tudtál a tudományról, de más sem tudja)*. London: Cassell Illustrated, 1997.
Trinkaus, Erik és Pat Shipman, *The Neandertals: Changing the Image of Mankind (A Neandervölgyi emberek: Az emberiség képének megváltoztatása)*. London: Pimlico, 1994.
Tudge, Colin, *The Time before History: Five Million Years of Human Impact (A történelem előtti idők: Ötmillió évnyi emberi hatás)*. New York: Touchstone/Simon & Schuster, 1996.

----”---- *The Variety of Life: A Survey and a Celebration of All the Creatures that Have Ever Lived (Az élet sokfélesége: A valaha élt teremtmények áttekintése és ünneplése)*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
Vernon, Ron, *Beneath our Feet: The Rocks of Planet Earth (A lábunk alatt: A Föld bolygó kövei)*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
Vogel, Shawna, *Naked Earth: The New Geophysics (A meztelen Föld: Az új geofizika)*. New York: Dutton, 1995.
Walker, Alan és Pat Shipman, *The Wisdom of the Bones: In Search of Human Origins (A csontok bölcsessége: Az ember eredetének nyomában)*. London: Weidenfeld & Nicolson, 1996.
Wallace, Robert A., Jack L. King és Gerald P. Sanders, *Biology: The Science of Life (Biológia: Az élet tudománya)*, második kiadás. Glenview, 111.: Scott, Foresman & Co., 1986.
Ward, Peter D. és Donald Brownlee, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe (A Föld mint ritkaság: Miért nincsen a világegyetem több helyén fejlett élet)*. New York: Copernicus, 1999.
Watson, James D., *DNS: Az élet titka (The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Strcture of DNA)*. Budapest: HVG, 2004.
Weinberg, Samantha, *A Fish Caught in Time: The Search for the Coelacanth (Egy időtlen hal: A cölakanta felkutatása)*. London: Fourth Estate, 1999.
Weinberg, Steven, *The Discovery of Subatomic Particles (A szubatomos részecskék felfedezése)*. London: W. H. Freeman, 1990.
----”---- *Dreams of a Final Theory (Álmok egy végső elméletről)*. London: Vintage, 1993.
Whitaker, Richard (szerk.), *Weather (Időjárás)*. London: Warner Books, 1996.
White, Michael, *Isaac Newton: The Last Sorcerer (Isaac Newton, az utolsó mágus)*. London: Fourth Dimension, 1997.
----”---- *Rivals: Conflict as the Fuel of Science (Vetélytársak: A küzdelem mint a tudomány motorja)*. London: Vintage, 2001.
Wilford, John Noble, *The Mapmakers (A térképészek)*. London: Random House, 1981.
----”---- *The Riddle of the Dinosaur (A dinoszaurusz rejtélye)*. London: Faber, 1986.
Williams, E. T. és C. S. Nicholls (szerk.), *Dictionary of National Biography, 1961-1970*. Oxford: Oxford University Press, 1981.
Williams, Stanley és Fen Montaigne, *A Galeras kitörése: egy kutató a vulkánokról és megmenekülésének történetéről (Surviving Galeras)*. Budapest: Vince, 2002. ford.: Németh Géza
Wilson, David, Rutherford: *Simple Genius (Rutherford: Egyszerű lángész)*. London: Hodder, 1984.
Wilson, Edward O., *The Diversity of Life (Az élet sokfélesége)*. London: Allen Lane/Penguin Press, 1993.
Winchester, Simon, *The Map That Changed the World: The Tale of William Smith and the Birth of a Science (A térkép, amely megváltoztatta a világot: William Smith és egy tudomány születésének története)*. London: Viking, 2001.
Woolfson, Adrian, *Life without Genes: The History and Future of Genomes (Élet gének nélkül: A genomok története és jövője)*. London: Flamingó, 2000.

MÉRTÉKEGYSÉGEK

1 mile = 1.609344 kilometers
1 CsE = 149 597 870 km = 8,33 fényperc
1 fényév = 63 241 CsE

---

[1] Hadd szóljak itt a számok normálalakjáról, amelyet angolul „tudományos jelölésnek” hívnak. Mivel igen fáradságos lenne a nagy számokat végig kiírni, és majdnem lehetetlen lenne elolvasni őket, a tudósok egy, a 10 hatványain alapuló jelölést használnak, amely szerint 10 000 000 000 = 10^{10} és 6 500 000 = 6,5xl0^{6}. A dolog úgy működik, hogy a 10x10 = 100 szorzatban 2 tízes van, tehát 10^{2}-nak írjuk, 10x10x10 = 1000 = 10^{3}, és így tovább a végtelenségig. A hatványkitevő mondja meg, hogy a fő szám után hány nullát kell írni. Ha a kitevő negatív, az tulajdonképpen a fentiek tükörképe: azt jelenti, hogy az adott számot a tíznek hányadik hatványával kell osztani, más szóval, hogy a tizedesvessző hány hellyel kerül balra. Bár nekem tetszik ez a jelölés, soha nem tudtam elképzelni, hogy hogyan tudja valaki rögtön kiolvasni, hogy 1,4x10^{9} km^{3} = 1,4 milliárd köbkilométer, azt pedig végképpen nem értem, hogy miért kell egy könyvben az első alakot használni (különösen, ha nem szakmabéli olvasóknak szól az adott mű – a példa egy ilyen helyről van). Feltételezem, hogy olvasóim többsége éppen olyan keveset tud a matematikáról, mint én, és ezért ígérem, hogy csak ritkán használom az említett jelölést, bár néha elkerülhetetlen lesz, különösen ebben a fejezetben, ahol a dolgok kozmikus skálán mozognak.

[2] Goldilocks egy meseszereplő. Magyar fordításban Rosszcsont Kata vagy Aranyfürtöcske; a mi szempontunkból arról nevezetes, hogy meg kellett keresnie azt az adag zabkását, ami sem túl forró, sem túl hideg (a fordító megjegyzése).

[3] I come from good old Boston/The home of the bean and the cod/ Where the Lowells speak only to Cabots/And the Cabots speak only to God. – A jó öreg Bostonból jövök, a bab és a tőkehal hazájából, ahol Lowellék csak Cabotékkal állnak szóba, Caboték pedig csak Istennel (a fordító).

[4] Helyesen: Öpik-Oort-felhő. Nevét Ernst Öpik észt csillagászról kapta, aki már 1932-ben feltételezte létezését és Jan Oort holland csillagászról, aki tizennyolc évvel később finomított a számításokon.

[5] A katalógus megtalálható például a következő címen: http://www.seds.org/~spider/ngc/ngc.html (a fordító).

[6] Választott módszerük, a háromszögelés népszerű eljárás volt. A geometria azon egyszerű tényén alapul, hogy ha ismerjük egy háromszög egyik oldalának hosszát és a rajta fekvő két szög nagyságát, kiszámíthatjuk a két másik oldalt is (nem kell tehát megmérni). Tegyük fel például, hogy azt szeretnénk tudni, milyen messze van a Hold. A háromszögeléshez el kell távolodnunk egymástól. Az olvasó Párizsba utazik, én pedig Moszkvába, és egyszerre nézünk fel a Holdra. A példa három főszereplője – az olvasó, én és a Hold – háromszöget alkot. Mérjük meg a kettőnk közötti távolságot és a két szöget – a többi könnyen kiszámítható. (Mivel a háromszög belső szögeinek összege 180°, két szög ismeretében kiszámíthatjuk a harmadikat, és ha már ismerjük a háromszög alakját és az egyik oldal hosszát, megvan a többi oldal is.) A módszerrel egy görög csillagász, Nicaeai Hipparkhosz, Kr. e. 150-ben már kiszámította a Hold-Föld távolságot. A háromszögelés ugyanígy működik a Föld felszínén is, csak a háromszögek nem nyúlnak fel az űrbe, hanem egymás mellett fekszenek a térképen. Amikor az expedíció a délkör egy fokát mérte meg, ezt háromszögek sorozatával tette.

[7] Az, hogy ki milyen sebességgel forog, attól függ, hogy a Föld melyik pontján állunk. A Föld felszíne egyenlítői pontjainak sebessége több mint 1600 km/h, a sarkokon pedig 0. Londonban a sebesség 998 km/h.

[8] A következő 2004. június 8-án következett be; a párja 2012-ben várható. A XX. században egy sem volt.

[9] 1781-ben Herschel elsőként fedezett fel egy bolygót. Györgynek szerette volna elnevezni a brit uralkodóról, de lebeszélték róla. Neve inkább Uránusz lett.

[10] A fizikus számára a tömeg és a súly két különböző fogalom. Az ember tömege mindenhol ugyanakkora marad, súlya viszont attól függ, milyen távol kerül egy nagy tömegű test – például egy bolygó – középpontjától. Ha a Holdra utazunk, súlyunk jelentősen csökken, tömegünk viszont nem. A Földön a két mennyiség gyakorlatilag megegyezik, ezért a mindennapi életben nem teszünk köztük különbséget – fizikaórán azonban ezt nem tehetjük meg.

[11] A nagyközönség számára érthetővé tevő tolmácsolója (a fordító).

[12] Bár a sztori nagyon jó, a múzeumot valójában Parkinson névrokona nyerte (a szerkesztő).

[13] Igaz, hogy itt most nem lesz feleltetés, de ha az olvasó valaha olyan helyzetbe kerül, hogy meg kell tanulnia az egész rendszert, jól jöhet John Wilford tanácsa: tekintsük a korszakokat (prekambrium, paleozoikum, mezozoikum és kainozoikum) évszakoknak, az idő-

szakokat (perm, triász, jura stb.) pedig hónapoknak.

[14] Bár szinte minden könyv megemlíti Ussher püspököt, szembeszökő, hogy a részletekben mennyire eltérnek egymástól. Egyes források szerint megállapítását 1650-ben tette, mások szerint 1654-ben, még mások 1664-re teszik a felfedezést. Többek szerint a Föld keletkezése október 26-ra esett. Legalább egy könyvben neve egy s-sel, „Usher"-ként szerepel. A témáról még több érdekes adalék olvasható Stephen Jay Gould *Eight Little Piggies* (Nyolc kismalac) című könyvében.

[15] Darwin imádta a pontos számokat. Egy későbbi művében azt állította, hogy egy hold angol termőföldben átlagosan 53 767 féreg van.

[16] A legrégebbi cambridge-i college (a fordító).

[17] Ő dolgozta ki a termodinamika második főtételét. A főtételekről külön könyvet lehetne írni; itt csak egy rövid összefoglalást adok P. W. Atkins vegyész nyomán, hogy az olvasó belekóstolhasson, miről is van szó: „Négy főtétel van. Először a harmadikat, a II. főtételt fedezték fel, utolsóként pedig az elsőt, a O.-at. Az I. főtétel volt a második, a III. pedig nem is tétel abban az értelemben, ahogyan a többiek." A II. főtétel, ha nagyon leegyszerűsítjük, azt állítja, hogy egy kis energiaveszteség mindig fellép. Ezért nem lehet örökmozgót készíteni, mert bármilyen hatékony legyen is, egy kis energia mindig távozik a rendszerből, ezért az előbb-utóbb le fog állni. Az I. főtétel szerint nem lehet energiát létrehozni, a III. szerint nem lehet elérni az abszolút nulla fok hőmérsékletet; valami kis meleg mindig marad. Dennis Overbye tréfás megjegyzése szerint a három főtétel így is kifejezhető: (1) nem nyerhetsz, (2) nincs döntetlen és (3) nem szállhatsz ki a játékból.

[18] Nálunk glicínia néven ismeretes (a fordító).

[19] A kifejezést gyakran fordítják vidámparkként, de inkább olyan parkot jelent, amely egyféle témát mutat be, mint például a városligeti Közlekedési Park vagy a dániai Legoland (a fordító).

[20] Fontos kivétel a Tyrannosaurus Rex, amelyet Barnum Brown talált 1902-ben.

[21] Szó szerint: Csontkalyiba kőbánya (a fordító).

[22] A két lehetőség: „aluminum" vagy „alumínium", abból adódik, hogy Davy (rá nem jellemző módon) elbizonytalanodott. Amikor az elemet 1808-ban vegytisztán előállította, „alumium"-nak nevezte el. Négy évvel később valamilyen okból meggondolta magát, és átkeresztelte „aluminum "-ra. A kötelességtudó amerikaiak azonnal ezt a megnevezést kezdték használni, de sok angol ellenállt, mondván, hogy végződése nem illik bele a nátrium, kalcium és stroncium sorába, ezért a szót kiegészítették még egy szótaggal. Más felfedezései között Davynek köszönhetjük a biztonsági bányászlámpát is.

[23] A törvényből származik az Avogadro-szám, a kémia alapmértékegysége, amelyet jóval a tudós halála után neveztek el róla. A szám a molekulák száma 2,016 gramm hidrogéngázban (vagy ugyanolyan térfogatú bármilyen más gázban). Értéke $6{,}0221367 \times 10^{23}$, amely hihetetlenül nagy szám. A vegyész szakos diákok gyakran találnak ki hasonlatokat annak érzékeltetésére, hogy mekkora szám, ezért beszámolhatok arról, hogy ennyi kukoricaszemmel lehetne tizenöt kilométer vastagságban beteríteni az Egyesült Államokat, ennyi pohár vizet tartalmaz a Csendes-óceán, ennyi alumínium sörösdobozzal lehetne szorosan, 300 kilométer vastagon beteríteni a Földet. Ennyi amerikai cent elég lenne ahhoz, hogy a Föld minden lakója dollárbilliomos legyen. Jó nagy szám.

[24] Ha az olvasóban felmerülne a kérdés, hogy az atomok hogyan döntik el, melyik 50%-uk haljon meg, és melyik éljen tovább, az a válasz, hogy a „felezési idő" megnevezés csak statisztikai értelemben helytálló, valójában inkább olyan, mintha az atomoknak biztosítási statisztikai táblázatuk lenne. Képzeljük el, hogy egy anyagmintának a felezési ideje 30 másodperc. Ez nem azt jelenti, hogy a minta minden atomja vagy 30, vagy 60, vagy 90 másodpercig él, vagy más szép kerek élettartama van. Minden atom teljesen véletlenszerű időn keresztül marad fenn, aminek semmi köze a 30 többszöröseihez; lehet, hogy két másodpercig, lehet, hogy még évekig, évtizedekig vagy évszázadokig elkerüli sorsát. Senki nem tudja. Azt viszont biztosan állíthatjuk, hogy az anyagminta egészének eltűnési ideje olyan, hogy minden 30 másodpercben az atomok fele eltűnik. Ez tehát csak egy átlag, amely alkalmazható bármilyen nagy mintadarabra. Valaki például azt is kiszámította, hogy az amerikai tízcentesek felezési ideje körülbelül harminc év.

[25] Az entrópia azt jelenti, hogy egy rendszer mennyire véletlenszerű, rendezetlen. Az alábbi szemléletes példa Darrel Ebbing *General Chemistry* (Általános kémia) című könyvéből való. Gondoljunk egy kártyacsomagra! Ha most bontottuk ki a celofánból, akkor színek szerint, azon belül az ászoktól a királyokig el van rendezve, mondhatjuk tehát, hogy rendezett állapotban van. Keverjük meg, ekkor rendezetlen állapotba kerül. Az entrópia azt méri, mennyire alaposan van megkeverve a csomag, és a további keveréseknek mi a legvalószínűbb eredménye. Itt nem tudjuk teljes egészében elmagyarázni az entrópia mibenlétét, mert ahhoz ismerni kellene a hőmérsékleti inhomogenitás, a rácstávolságok és a sztöchiometriai összefüggések fogalmát is.

[26] Planck életének nem ez volt az első vagy az utolsó tragikus mozzanata. Szeretett első felesége fiatalon, 1909-ben halt meg, kisebbik fia pedig az első világháborúban. Ikerlányait is nagyon szerette. Egyikük belehalt a szülésbe. A másik gondozta az árva csecsemőt, és beleszeretett nővére férjébe. Összeházasodtak, és két év múlva ő is meghalt szülés közben. 1944-ben, Planck nyolcvanöt éves korában a háza áldozatul esett a szövetséges erők egy bombájának, és a tudósnak mindene – papírok, naplók, egy élet összegyűjtött tárgyai – odaveszett. A rákövetkező évben a másik fiáról kiderült, hogy benne van egy Hitler elleni összeesküvésben, és kivégezték.

[27] Téves adatközlés! A kísérletben saját fényforrást használtak, nem csillagfényt. Lásd pl,: http://simple.wikipedia.org/wiki/Michelson%E2%80%93Morley_experiment

[28] Einstein a díjat a kicsit talán túl rövid indoklás szerint „elméleti fizikai munkásságáért” kapta. Tizenhat évig, 1921-ig kellett rá várnia, ami hosszú idő, de semmi ahhoz képest, hogy a neutrínókat 1957-ben észlelő Frederick Reinesnek mennyit kellett várnia (1995-ben, harmincnyolc évvel később kapta meg), vagy az elektronmikroszkópot 1932-ben feltaláló német Ernst Ruská-nak (1986-ban, több mint fél évszázaddal a teljesítmény után). Mivel a Nobel-díjat csak élő ember kaphatja, nem haszontalan, ha egy tudós nemcsak zseniális, de hosszú életű is.

[29] Először ugyanis azt hitte, kiváló matematikai és fizikai képességei miatt mindenképpen fel fogják venni, és előtte le sem tette az érettségit (a fordító).

[30] Rejtély, hogy miért éppen c-vel jelöljük a fény sebességét, de David Bodanis szerint valószínűleg a latin celeritas, vagyis gyorsaság szóból származik. Az Oxford English Dictionary megfelelő kötete szerint (a relativitáselmélet előtt tíz évvel megjelent műről van szó) a c sok mindent jelenthet a széntől (carbon) a tücsökig (cricket), de nem említi a fénnyel vagy a sebességgel kapcsolatban.

[31]* Christian Andreas Doppler osztrák fizikus nevéről, aki 1842-ben elsőként írta le a jelenséget. (Doppler a fénnyel kapcsolatban fogalmazta meg az effektust, de azt először hanghullámok esetében mutatták ki kísérleti úton – a lektor megjegyzése.) Ha egy mozgó test közeledik egy állóhoz, akkor az első által kibocsátott hanghullámok mintegy felduzzadnak, amikor ugyanúgy összetorlódnak a vevőeszközben (például az olvasó fülében), mint bármi más, amit egy mozdíthatatlan akadály felé nyomnak. Ezt a hallgató magas hangként észleli. Amikor a hang forrása továbbhalad, a hanghullámok kiterjednek és kiszélesednek; ekkor mélyebb hangot hallunk.

[32]* Szepesváry Pálné fordítása; forrás: a KFKI honlapja.

[33]* Ugyanarról a Cavendish családról van szó, amelyikből Henry származott. William Cavendish, Devonshire hetedik hercege tehetséges matematikus volt, és a Viktória korabeli Anglia acélbárója. 1870-ben 6300 angol fontot adományozott az egyetemnek egy kísérleti laboratórium építésére.

[34]* Geiger többek között hűséges náci is lett, aki habozás nélkül feladta zsidó kollégáit, sok olyat is, aki korábban segítségére volt.

[35] Van itt egy kis bizonytalanság a „bizonytalanság” szó körül. Michael Frayn Koppenhága című színdarabja utószavában megjegyzi, hogy a fordítók a német nyelv több szavával – Unsicherheit, Unscharfe, Ungenauigkeit és Unbestimmtheit – is próbálkoztak, de ezek egyikének jelentése sem egyezik pontosan a „bizonytalanság” szó tartalmával. Frayn szerint a „határozatlanság” szó jobban megfelelne, a „meghatározhatatlanság” pedig még jobb. Heisenberg általában az Unbestimmtheit kifejezést használta.

[36] Ezt a mondatot általában így idézik. Valójában ezt mondta: „Nem hinném, hogy bepillanthatunk Isten kártyalapjaiba. De hogy Ő kockázna, és »telepátiát« használna… ezt egy pillanatig sem hiszem.”

[37] A fejezet eredeti címe, „Getting the lead out” szójáték: egyrészt az „az ólom kivételét vagy kivezetését” jelenti, másrészt átvitt értelemben a sietséget (*a fordító*).

[38] A költséges beruházásnak hasznos mellékhatásai is vannak. A világháló (World Wide Web) például a CERN egyik oldalhajtása; Tim Berners-Lee találta ki 1989-ben.

[39] „Three quarks for Muster Mark!” – Az idézet James Joyce *Finnegans Wake* című szürrealista regényéből való. Joyce írásában szakértő irodalmárok szerint a quark (kvark) kifejezés a hark! (hé!) és a quart (negyedgallonos sör) szavak összevonásából keletkezett (Jéki László *Kvarkok* című cikke nyomán, *Beszélő*, 2004. szeptember).

[40] Jogos a kérdés, hogy rendben van, hogy a Hubble-állandó értéke 50 vagy 100, de miből? Az állandó mértékegységében egy csillagászati mértékegység szerepel. A csillagászok csak beszélgetés közben használják a „fényév” kifejezést, egyébként parszekben számolnak (a szó a parallax = látószögelhajlás és a secundum szavak összevonásából származik). 1 parszek, azaz 3,26 fényév távolságból a Nap-Föld középtávolság látószöge 1 ívmásodperc. A nagyobb méreteket, például a világegyetem méretét megaparszekben fejezzük ki; 1 megaparszek = 1 millió parszek. Maga az állandó kilométer per másodperc per megaparszekben (km/s/Mpc) van kifejezve. A hétköznapi ember számára ennek nincsen különösebb tartalma, de maguknak a csillagászati távolságoknak sem, hiszen túl nagyok ahhoz, hogy el tudjuk képzelni őket.

[41]* Azért KT, és nem CY (angolul a kréta kor neve Cretaceous), mert a C már foglalt; ezzel jelölik a kambrium kort. A K használatát a görög kréta vagy a német Kreide szóból vették át, amelyek mindketten krétát jelentenek.

[42] Durva fordítói hiba! Eredetiben: „though at that point it would be weightless since all the Earth’s gravity would be above and around it rather than beneath it”... (*go'be')*

[43]* A tévedés forrása az angol elnevezés: Richter scale, ahol a scale mérleget is jelent (*a fordító*).

[44] Az eredetiben is téves! A skála tízes alapú logaritmuson alapszik, tehát a 7,3-as 10-szer erősebb, mint a 6,3-as. (*go'be'*)

[45]* Az eredeti mű kiadási éve 2003, tehát Bill Bryson még nem írhatott a 2004. december 26-án történt szumátrai földrengésről és szökőárról. A földrengés valahol a 8,9-es és 9,3-as nagyság között volt, nagyobb, mint bármelyik a XX. században. Nyolc percen át tartott, az általa keltett szökőár az epicentrumtól 6000 kilométerre is pusztított, és helyenként 30 méteres hullámai körülbelül 275 000 halálos áldozatot szedtek (*a fordító*).

[46]* Moho = Mohorovičić, hole = lyuk (*a fordító*).

[47]* No Hole = Nincs Lyuk (*a fordító)*.

[48] Azok számára, akik többet szeretnének tudni a Föld belsejéről, álljon itt a különféle rétegek átlagos vastagsága: A kéreg 0-40 kilométeres. Innen 400 kilométerig terjed a köpeny felső része. 400-tól 650 kilométerig átmeneti zónát találnánk a köpeny két része között. Utána következik a köpeny alsó része, egészen 2 700 kilométerig. Itt jön az úgynevezett D réteg, ami körülbelül 2 890 kilométerig tart. 5150 kilométerig beszélhetünk külső magról, onnantól pedig a középpontig, 6370 kilométerig tart a belső mag.

[49] Eredetiben: „You've got rocks up at Beartooth Gap that are nearly three billion years old—three-quarters of the way back to Earth's beginning" – tehát a Föld korának háromnegyede óta. (*go'be'*)

[50] Helyesen: *Sulfolobus acidocaldarius* és Thermus aquaticus. (*go'be'*)

[51] Pyrolobus fumaria. (*go'be'*)

[52] Pontatlan. A nitrogén feloldódik a vérben nagy nyomás alatt. A buborékok csak a hirtelen nyomáscsökkenéskor jelennek meg. (*go'be'*)

[53]* A yellowstone-i forró sárgödrökben és másutt talált extremofil élőlények alapján kijelenthetjük, hogy a határok még tágabbak lehetnek egyes élőlények esetében, tehát talán még a Plútó jege alatt is találhatnánk életet. Itt most azokról a körülményekről beszélünk, amelyek megfelelnek a fejlettebb szárazföldi élőlények kialakulásához.

[54] Helyesen: *Sulfolobus acidocaldarius* és Thermus aquaticus. (*go'be'*)

[55]* A maradék négy közül három nitrogén, egy pedig minden más.

[56]* Maga az oxigén nem éghető, csak részt vesz az égési folyamatokban. Ha maga is éghető lenne, a körülöttünk lévő levegő lángba borulna akárhányszor, amikor gyufát gyújtunk. A hidrogéngáz viszont rendkívül tűzveszélyes, ahogyan azt a Hindenburg léghajó megmutatta 1937. május 6-án a New Jersey állambeli Lakehurstben, amikor hidrogén üzemanyaga robbanásszerűen kigyulladt, harminchat utasa pedig meghalt.

[57] Annak, hogy a gomolyfelhőknek határozott széle van, nem úgy, mint más, elmosódottabb felhőknek, az az oka, hogy a gomolyfelhő nedves belseje és a mögötte lévő a száraz levegő között éles határ van. Ha egy molekula kiszabadul a felhőből, azt azonnal felszippantja a száraz levegő, ezért megmarad a felhő határozott széle. A sokkal magasabban lévő pehelyfelhők jégből vannak, és köztük és a levegő között nem húzódik ilyen határozott elválasztó vonal, ezért látjuk a szélüket elmosódottnak.

[58] Eredetiben (lábjegyzetként): „ That seems to have been the source of the expression "to be on cloud nine." " (go'be')

[59] Úgy látszik, hogy ezt a kifejezést sok különböző értelemben használják. 2002 novemberében megjelent az MIT-n dolgozó Carl Wunsch „What Is the Thermohaline Circulation?" (Mi a termohalin keringés?) című cikke a *Science* magazinban. Összevetette egymással a legjelentősebb folyóiratokat, és azt találta, hogy a kifejezést legalább hét különböző jelenségre használják (mélységi keringés, a sűrűség- és a felhajtóerő-különbség miatti keringés, tömeges meridionális átforduló áramlás és így tovább) – bár mind megegyezik abban, hogy hőszállító óceáni keringést jelent abban az óvatosan felületes és átfogó értelemben, ahogyan ezt fent használtam.

[60] Helytelen fordítás. Eredetiben hőmérséklet különbségről van szó. „Two dozen of them together will produce as much energy as a large power station, and the range of temperatures around them is enormous." (*go'be'*)

[61] Magyarországra ez nem vonatkozik; a Paksi Atomerőmű nukleáris hulladékait az oroszországi Majákban helyezték el, amely ma a világ legszennyezettebb területének számít. (A Greenpeace magyar irodájának tájékoztatása alapján.)

[62] Helyesen: ámbráscet (*Physeter macrocephalus*).

[63] Az óriás tintahal emészthetetlen részei, különösen a csőre, összegyűlik az ámbráscet gyomrában, és ámbrát alkot, ami a parfümök illatrögzítő anyaga. Amikor az olvasó legközelebb beszórja magát Chanel parfümével (ne olvassa tovább, ha nem), jusson eszébe, hogy egy láthatatlan tengeri szörny eszenciájával került testi kontaktusba.

[64] Hoplostethus atlanticus – Atlanti tükörhal, Gránátos sügér. Eredetiben: orange roughy (go'be'). A roughy-t az internetes fordítók tükörhal-nak fordítják. Hogy ebből miként lett csillagosszemű azt nem tudom elképzelni.

[65] A Földön a természetben huszonkét aminosav fordul elő, és lehet, hogy több is van, csak még nem fedeztük fel őket, de csak húszra van szükségünk az ember és a többi élőlény legnagyobb része létrehozásához. A huszonkettediket, a pyrrolysine nevűt, 2002-ben fedezték fel az Ohio Állami Egyetem kutatói, és csak egy egyszerű életformában, amelyről még szó lesz történetünkben, a *Methanosarcina barkeri* nevű archeamikrobában.

[66] A magyar fordításból kimaradt: „Hoyle—and it seems necessary to insert a reminder here that he was one of the great scientific minds of the twentieth century—also once suggested, as mentioned earlier, that our noses evolved with the nostrils underneath as a way of keeping cosmic pathogens from falling into them as they drifted down from space." (*go'be'*)

[67]* Szubdukció: a kőzetlemezeinek alábukása a földköpeny mélyebb rétegeibe (a lektor megjegyzése).

[68] Egybillió (one trillion)= 10^{12}. (*go'be'*)

[69] Száztrillió; szvsz hibás fordítás, ugyanis az eredetiben „hundred trillion" szerepel, ami – figyelembe véve a 61. lábjegyzetet – százbil-

liónak fordítandó. (A trillió – ebben a skálában – 10^{18} . (*go'be'*)

[70] 1 billiárd (quadrillion) = 10^{15} (ezerbillió)

[71] 2005-ben, százegy éves korában hunyt el (a szerkesztő megjegyzése)

[72] A 300 000 évszázad = 30 000 000 év. A trilobiták csaknem 300 000 000 évig léteztek. Ez a hiba az eredetiben is megvan. (*g*)

[73] $70,000 az eredetiben.

[74] Az ember például az eukariótákhoz tartozik, azon belül az állatok országába, a gerinchúrosak törzsébe, a gerincesek altörzsébe, az emlősök osztályába, a főemlősök rendjébe, az emberfélék családjába, az ember (*Homo*) nembe, ezen belül a *sapiens* fajba. (A nem és a faj megnevezését dőlt betűvel szokták írni, a magasabb kategóriákét nem.) Egyes rendszertannal foglalkozók még további osztásokat vezetnek be: nem, alosztály, infraosztály, parvosztály stb.

[75] A taxon egy állat- vagy növényrendszertani egységet jelent, mint amilyen például a törzs vagy a nemzetség. Többes száma angolul taxa, magyarul taxonok.

[76] Egyes higiéniai ügyekben visszafejlődünk. Dr. Maundernek az a véleménye, hogy amióta egyre alacsonyabb hőmérsékleten használható mosóporokat használunk, egyre jobban szaporodnak a nemkívánatos kis élőlények. Ő ezt így fogalmazza: „Ha tetves ruhát alacsony hőmérsékleten mosunk, annyit érünk el, hogy tisztább tetveink lesznek.”

[77] Természetesen a folyamat közben nem minden sejt marad meg, ezért csak találgatni tudunk, hogy hány sejtünk lehet. A különböző források még csak a szám nagyságrendjében sem egyeznek meg. A fent idézett szám Margulis és Sagan *Microcosmos* (Mikrokozmosz) című könyvéből való.

[78] Leeuwenhoek barátja volt a szintén Delftben élő Jan Vermeer. A XVII. század közepén, az addigra jó nevű, de nem kiemelkedő festő hirtelen elkezdett a fény tulajdonságaival foglalkozni, és távlatrajzokat készíteni; ma is elsősorban erről híres. Sokan arra gyanakszanak, hogy camera obscurát használt, tehát a képeket egy lencsén keresztül sík felületre vetítette. Vermeer halála után nem találtak ilyen eszközt a hagyatékában, viszont tudni lehet, hogy végrendeletének végrehajtója Antony van Leeuwenhoek volt, a kor legtitkolózóbb lencsekészítője.

[79] Ugyanezen a napon született Abraham Lincoln Kentuckyban.

[80]* Darwin azon kevesek egyike volt, aki kitalálta a szerző személyét. Véletlenül éppen Chambers-nél járt, amikor ő megkapta műve hatodik kiadásának első példányát. Darwinnak gyanús volt, hogy Chambers milyen szigorúan ellenőrzi a javításokat az új kiadásban, de úgy tudjuk, ezt nem említette Chambersnek.

[81] 1861-ben, amikor a vita a tetőfokára hágott, bajor munkások találtak egy ilyen leletet: egy *Arhaeopteryx* csontjait, amely átmenet volt a dinoszaurusz és a madár között, (fogai és tollai is voltak.) Lenyűgöző és hasznos fosszília volt, de jelentőségét sokan vitatták, és egy felfedezés nem elég bizonyítéknak.

[82] A 10 000 billió (ten thousand trillion) = 10^{16} tízmillió milliárd? (gyanús adat)

[83] 1968-ban a Harvard Egyetemi Kiadó megtagadta *A kettős spirál* újabb kiadását, mert Crick és Wilkins tiltakoztak az ellen, ahogyan Watson leírta benne őket; Lisa Jardin szerint a könyv tele volt „felesleges sértegetésekkel”. A fenti idézet már az egyik új kiadásból származik, amelyben Watson szelídebb hangon ír tudóstársairól.

[84] Téves: helyesen timin (thymin). Az eredetiben – szintén tévesen – thiamin szerepel. (*go'be'*)

[85] És már azt is kitaláltuk, hogyan használjuk fel. A DNS-nek ez a része kiválóan alkalmazható azonosításra. Alec Jeffreys, a Leicesteri Egyetem tanára véletlenül jött rá, milyen alkalmas erre a célra. 1986-ban az örökletes betegségek génmarkereit vizsgálta a DNS-szekvenciákban, amikor a rendőrség felkérte, hogy segítsen egy emberölés tettesét DNS-minta alapján beazonosítani. Jeffreys rájött, és sikerült bizonyítania, hogy módszere tökéletes bűnügyek megoldására. Egy Colin Pitchfork nevű péket a gyilkosságok miatt életfogytiglani börtönre ítéltek.

[86] Mai nevén: moréna vagy gleccserturzás.

[87] A magyar fordításban: elliptikus pályályának elnyúltsága (ekxcentricitás). (*azt a tjuxszaros mindenit – hördül fel – go'be')*

[88] Dubois vallon anyanyelvű volt, de Eijsdenben született, Hollandiának a belga Vallóniával határos részén.

[89] Az ember az emberfélék (Hominidae) családjába tartozik. Ilyen minden élő vagy kihalt élőlény, aki közelebbi rokonunk, mint a mai csimpánzok. Az emberszabású majmok egy Pongidae nevű család tagjai. Sok tudós úgy gondolja, hogy a csimpánzok, gorillák és orangutánok is inkább az emberfélék közé kellene hogy tartozzanak, ezen belül az emberek és a csimpánzok egy Hominiae nevű alcsaládba. Tehát az eddig hominideknek tartott élőlényeket homininenek kellene nevezni. (Leakey és mások szerint ez így lenne helyes.) Az emberszabásúak nagyobb családjának neve pedig Hominoidea.

[90] Bár az agy mérete nem minden, sőt, néha nem is sokat számít. Az elefántok és bálnák agya nagyobb a miénknél, mégse lenne nehéz dolgunk, ha le akarnánk győzni őket egy versenytárgyaláson. A viszonylagos méret a lényeg, de ezt sokan nem veszik figyelembe. Mint Gould megjegyezte, az A. africanus agya 450 cm^3-es volt, kisebb, mint egy gorilláé. Viszont egy átlagos africanus hím nem érte

el a 45 kilogrammot sem, a nőstény még kisebb volt, a gorillák viszont gyakran nehezebbek még 150 kilogrammnál is.

[91] Lehet, hogy a Neander-völgyieknek és a crô-magnoniaknak eltérő számú kromoszómája volt; ez gyakran előfordul, ha két közeli, de nem teljesen azonos faj egyedei utódot nemzenek. A lovaknak például 64 kromoszómája van, míg a szamaraknak 62. Ha kettőjüknek közös utódja lesz, az 63 kromoszómával fog rendelkezni, ami nem alkalmas a továbbörökítésre. Ezért meddők az öszvérek.

TARTALOM

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS
BEVEZETÉS
I. VALAHOL A KOZMOSZBAN
- 1. HOGYAN ÉPÍTSÜNK VILÁGEGYETEMET
- 2. ÜDVÖZÖLJÜK NAPRENDSZERÜNKBEN
- 3. EVANS TISZTELETES VILÁGEGYETEME

II. A FÖLD MÉRETE
- 4. A DOLGOK NAGYSÁGA
- 5. A KŐTÖRŐK
- 6. TUDOMÁNY FOGGAL-KÖRÖMMEL
- 7. ELEMI DOLGOK

III. EGY ÚJ KORSZAK HAJNALA
- 8. EINSTEIN VILÁGEGYETEME
- 9. A HATALMAS ATOM
- 10. KI AZ ÓLOMMAL![37]
- 11. MARK MESTER KVARKJAI
- 12. MEGMOZDUL A FÖLD

IV. A VESZÉLYES BOLYGÓ
- 13. BUMM!
- 14. TALPUNK ALATT LÁNGOL A TŰZ
- 15. VESZÉLYES SZÉPSÉG

V. MAGA AZ ÉLET
- 16. A MAGÁNYOS BOLYGÓ
- 17. FEL A FELHŐÖVBE!
- 18. A TENGER HULLÁMAI
- 19. AZ ÉLET KELETKEZÉSE
- 20. KICSI VILÁG
- 21. AZ ÉLET MEGY TOVÁBB
- 22. AGYŐ, VILÁG!
- 23. A LÉT GAZDAGSÁGA
- 24. SEJTEK
- 25. DARWIN PÁRATLAN GONDOLATA
- 26. AZ ÉLET ANYAGA

VI. A FELÉNK VEZETŐ ÚT
- 27. JÉGKORSZAK
- 28. A TITOKZATOS KÉTLÁBÚ
- 29. A NYUGHATATLAN EMBERSZABÁSÚ
- 30. VISZLÁT

JEGYZETEK
- 1. FEJEZET Hogyan építsünk világegyetemet
- 2. FEJEZET Üdvözöljük Naprendszerünkben
- 3. FEJEZET Evans tiszteletes világegyeteme

4. FEJEZET A dolgok nagysága
5. FEJEZET A kőtörők
6. FEJEZET Tudomány foggal-körömmel
8. FEJEZET Einstein világegyeteme
9. FEJEZET A hatalmas atom
10. FEJEZET Ki az ólommal!
11. FEJEZET Mark mester kvarkjai
12. FEJEZET Megmozdul a Föld
13. FEJEZET Bumm!
14. FEJEZET Talpunk alatt lángol a tűz
15. FEJEZET Veszélyes szépség
16. FEJEZET A magányos bolygó
17. FEJEZET Fel a felhőövbe!
18. fejezet A tenger hullámai
19. FEJEZET Az élet keletkezése
20. FEJEZET Kicsi világ
21. FEJEZET Az élet megy tovább
22. FEJEZET Agyő, világ!
23. FEJEZET A lét gazdagsága
24. FEJEZET Sejtek
25. FEJEZET Darwin páratlan gondolata
26. FEJEZET Az élet anyaga
28. FEJEZET A titokzatos kétlábú
29. FEJEZET A nyughatatlan emberszabású
30. FEJEZET Viszlát
BIBLIOGRÁFIA
MÉRTÉKEGYSÉGEK