

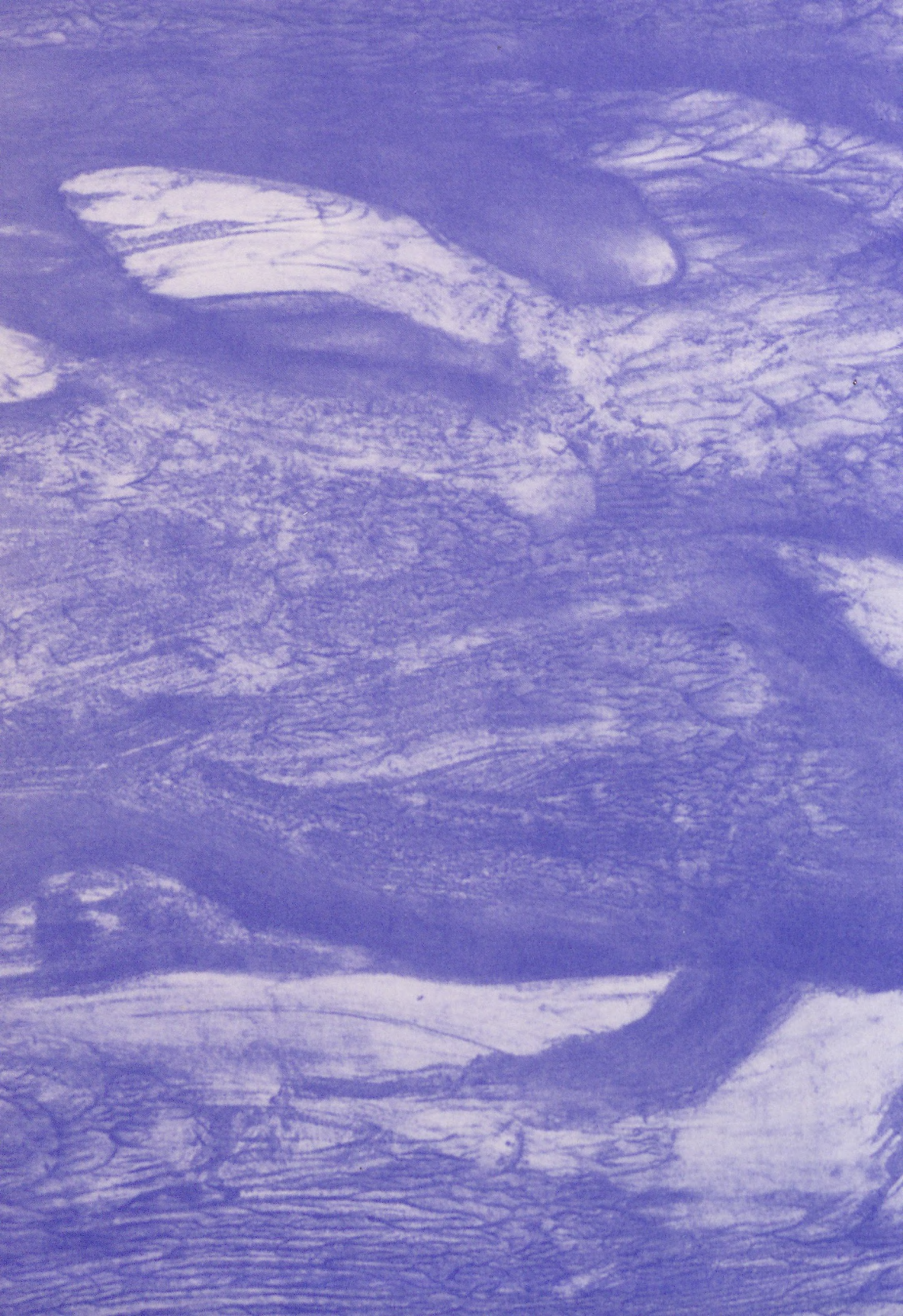
RICHARD DAWKINS

A vak órásmester

Gondolatok a darwini evolúcióelméletről



Akadémiai Kiadó • Mezőgazda Kiadó
Budapest





A VAK ÓRÁSMESTER

A VAK ÓRÁSMESTER

ÉRTÉKES

ÉRTÉKES

ÉRTÉKES

ÉRTÉKES

ÉRTÉKES

A VAS
ÖNK
STER

Szüleimnek

698893

30665

RICHARD DAWKINS

A VAK ÓRÁSMESTER

Gondolatok

a darwini evolúcióelméletről



MTAK

0 00014 35400 7

AKADÉMIAI KIADÓ • MEZŐGAZDA KIADÓ
BUDAPEST

696656

A fordítás az alábbi kiadás alapján készült:

Richard Dawkins: *The blind watchmaker*.

Longman Scientific & Technical, Longman Group Ltd., 1986

Fordította:

SÍKLAKI ISTVÁN (5—11. fejezet), SIMÓ GYÖRGY (2—4. fejezet),

SZENTESI ISTVÁN (1. fejezet)

Lektorálta:

VIDA GÁBOR

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADEMIA
KÖNYVTÁRA

ISBN 963 05 6706 7

Kiadja az Akadémiai Kiadó és a Mezőgazda Kiadó

Első kiadás: 1994

© Richard Dawkins, 1986

Hungarian translation © Síklaki István, Simó György, Szentesi István, 1994

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános előadás,
a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is

Printed in Hungary

M. TUD. AKADEMIA KÖNYVTÁRA
Könyvtár 2744.../19 94... SZ.

Előszó

Ezt a könyvet azzal a meggyőződéssel írtam, hogy létünket valaha minden rejtélyek legnagyobbikaként állították be, ám többé már nem rejtély, mert megoldódott. Darwin és Wallace megoldották, ámbár egy ideig még szolgá-lunk újabb lábjegyzetekkel megoldásukhoz. Azért írtam ezt a könyvet, mert meglepett, milyen sok ember nemcsak hogy mit sem tud a legmélyebb probléma elegáns és gyönyörű megoldásáról, hanem hihetetlen módon sok esetben még arról sem tud, hogy egyáltalán ilyen probléma létezett!

Bonyolult probléma ez. Annak a számítógépnek, amelyen ezeket a szava-kat írom, körülbelül 64 kilobájt tárhőkapacitása van (1 bájtot használ a szöveg egy-egy karakterének tárolására). A számítógépet tudatosan tervezték és szándékosan kivitelezték. Az agy, amellyel az olvasó szavaimat megérti, körülbelül 10 millió kiloneuronból áll. E milliárdnyi idegsejt közül sokat ezernél is több „villanydrót” kapcsol össze más neuronokkal. Sőt a moleku-láris genetika szintjén a test több mint trilliónyi sejtjének mindegyike körül-belül ezerszer annyi, ugyanolyan, pontosan kódolt digitális információt tartalmaz, mint az én egész számítógépem. Az élő szervezetek bonyolultsá-gához fogható tervezésük eleganciája is. Ha van valaki, aki nem ért egyet velem, hogy a bonyolult tervezésnek ez a tömege magyarázatért kiált, akkor feladom. Nem, másodjára végiggondolva mégsem adom fel, mert egyik célom ezzel a könyvvel éppen az, hogy érzékeltessek valamit a biológiai összetettség csodáiból azokkal, akiknek a szeme eddig nem volt nyitva rájuk. De a másik célom az, hogy miután a rejtélyre rávilágítottam, a megoldást is megadjam.

Előttem nem egészen világos okok miatt a darwinizmus, úgy tűnik, jobban rászorul a védelemre, mint más tudományágak hasonló mértékben megalapozott igazságai. Sokan vagyunk, akik nem fogjuk föl a kvantumel-méletet vagy Einstein speciális és általános relativitáselméletét, önmagában ettől azonban még nem *szállunk szembe* ezekkel az elméletekkel! Az einstei-nizmustól eltérően a darwinizmust a tudatlanság legkülönbözőbb fokain álló kritikusok is szabad prédának tekintik. Talán az lehet a baj a darwiniz-mussal, hogy – mint Jacques Monod találóan megjegyezte – mindenki azt *hiszi*: érti. Csakugyan figyelemre méltóan egyszerű elmélet; gyermekien egy-szerű, gondolná az ember, szinte az egész fizikához és matematikához képest. Lényegében nem több annál az elgondolásnál, hogy a nem véletlen-

695558

szerű szaporodásnak, ahol örökletes változékonyság tapasztalható, messzire ható következményei vannak, ha van elég idő az összegződésükre. Jó alapunk van azonban azt gondolni, hogy ez az egyszerűség csalóka. Ne felejtsük el, bármilyen egyszerűnek tűnjék is az elmélet, senkinek sem jutott eszébe Darwin és Wallace előtt, azaz a XIX. század közepéig, ami közel háromszáz évvel volt Newton *Principiája* után, és több mint kétezer évvel azután, hogy Eratoszthenész megmérte a Földet. Hogyan lehet, hogy egy ennyire egyszerű eszmét nem fedeztek föl akkora gondolkodók, mint Newton, Galilei, Descartes, Leibnitz, Hume és Arisztotelész? Miért kellett várnia két Viktória korabeli természettudósra? Mi volt a *hiba* a filozófusokban és matematikusokban, hogy átsiklottak fölötté? És miként lehet az, hogy egy ilyen erejű eszme jórészt még ma sem ivódott bele a köztudatba?

Szinte úgy tűnik, mintha az emberi agy direkt úgy volna megtervezve, hogy félreértse a darwinizmust, és nehezebb esne hinni benne. Vegyük például a „véletlen” kérdését, amit drámai módon gyakran *vak* véletlennek neveznek. A darwinizmust támadó emberek nagy többsége szinte teljesen lelkeseddél veti magát arra a téveszmére, hogy abban semmi egyéb nincs *vak* véletlennél. Mivel az élővilág bonyolultsága éppen a véletlen antitézisét testesíti meg, ha azt hisszük, hogy a darwinizmus nem más, mint véletlen, nyilván nem esik nehezünkre elvetni! Egyik feladatom annak a készséggel elhitt mítosznak a lerombolása, hogy a darwinizmus a „véletlen” elmélete. A darwinizmus iránti hitetlenségre predisponálhat bennünket az is, hogy agyunk olyan események kezelésére épült, amelyeknek *időléptéke* gyökeresen eltér attól, ami az evolúciós változást jellemzi. Olyan folyamatok megítélésére vagyunk felkészítve, amelyek másodperceket, perceket, éveket vagy legfeljebb évtizedeket vesznek igénybe. A darwinizmus olyan összegződő folyamatok elmélete, amelyekhez évtizedek ezreire és millióira van szükség. A valószínűségről alkotott összes intuitív ítéletünk több nagyságrenddel bizonyul tévesnek. Kétkedésünk és szubjektív valószínűségelméletünk finoman hangolt apparátusa jócskán célt téveszt, mivel – fonák módon éppen az evolúció által – úgy van hangolva, hogy néhány évtizednyi élettartamon belül működjék. Képzeletünk erőfeszítésére van szükség, hogy kiszabaduljunk az ismerős időlépték börtönéből, s én ebben az erőfeszítésben igyekszem segídekzni.

A darwinizmussal szembeni ellenállásunk harmadik forrása az, hogy nagyon sikeres kreatív tervezők vagyunk. Világunkban a mérnöki és a művészi munka alkotásai uralkodnak. Tökéletesen hozzászoktunk ahhoz a gondolathoz, hogy a bonyolult elegancia az előre eltervezett, szakértelemmel megvalósított alkotómunka jele. Valószínűleg ez indítja a legnagyobb erővel a valaha élt emberek túlnyomó többségét arra, hogy valamilyen természetfeletti istenségben higgyen. A képzelet nagyon nagy szökellésére volt szüksége Darwinnak és Wallace-nak ahhoz, hogy minden intuíción ellenében belássa, van más mód is, s ha egyszer már megértettük, sokkal kézenfekvőbb mód arra, hogy a bonyolult „terv” kiemelkedjék az ős egysze-

rűségből. A képzelet szökellése oly nagy, hogy sok ember a mai napig vonakodik megtenni. E könyv fő célja segíteni az olvasót ebben az ugrásban.

Természetes dolog, hogy a szerzők azt remélik, hogy könyveiknek tartós, s nem csupán tűnékeny hatásuk lesz. Ám bármely ügy védelmezőjének azon túl, hogy időtlen érveit felsorakoztatja, válaszolnia kell a szemben álló vagy látszólag szemben álló nézetek kortárs védelmezőinek is. Fennáll az a veszély, hogy e viták egyike-másika, bármily hevességgel dűl is ma, a következő évtizedekben rettentő elavultnak fog látszani. Gyakran rámutattak arra a paradoxonra, hogy *A fajok eredete* első kiadása jobban érvel, mint a hatodik. Ennek az az oka, hogy Darwin ebben a későbbi kiadásban kötelességének érezte, hogy válaszoljon az első kiadás kortárs bírálataira, amely bírálatok ma már annyira elavultnak tűnnek, hogy a rájuk adott válaszok csak akadályozzák a megértést, sőt néhol félre is vezetnek. Mégis le kell küzdenünk azt a kísértést, hogy figyelmen kívül hagyjuk a divatos kritikákat, amelyekről azt gyanítjuk, csupán három napig tartó csodák, mert udvariasnak kell lennünk nemcsak a kritikusok iránt, hanem a máskülönbén megzavart olvasóik iránt is. Jóllehet megvan a saját véleményem arról, hogy könyvemnek mely fejezetei bizonyulnak majd végűl is emiatt kérészeletűnek, ám igazából az olvasónak – és az időnek – kell ítélnie.

Nagyon hasznos javaslatokat kaptam a következőktől: John Krebs (ismét), John Durant, Graham Cairns-Smith, Jeffrey Levinton, Michael Ruse, Anthony Hallam és David Pye. Richard Gregory volt szíves bírálai a 12. fejezetet, s a végső változatnak javára vált, hogy teljesen kihagytam. Mark Ridley és Alan Grafen, akik már hivatalosan sem a diákjaim, Bill Hamiltonnal együtt fároszai a kollégák azon csoportjának, akikkel az evolúcióról vitázom, s akiknek gondolatait szinte naponta hasznosítom. Ők, Pamela Wells, Peter Atkins és John Dawkins segítőkész kritikával illették a különbözű fejezeteket. Sarah Bunney számos dolgot javított ki, John Gribbin pedig egy nagy hibát hozott helyre. Alen Grafen és Will Atkinson számítási problémákban adtak tanácsot, az Állattani Tanszék Apple Macintosh szindikátusa pedig volt szíves rendelkezésemre bocsátani lézer printerűket a biomorfok rajzolásához.

Ismét csak hasznomra vált az a könyörtelen dinamizmus, amellyel Michael Rodgers, aki azóta a Longman Kiadó munkatársa, maga előtt görgeti a dolgokat. Ő és a Nortontól Mary Cunnane nagy szakértelemmel alkalmazták hol a gázpedált (munkamorálomhoz), hol a féket (humorérzékemhez). A könyv egy részét alkotószabadságom alatt írtam, amelyet az Állattani Tanszék és a New College engedélyezett a részemre. Végűl – ezt a hálát mindkét korábbi könyvemben le kellett volna rónom – köszönet illeti az oxfordi oktatási rendszert és az így kapott sok tanítványt, akik az évek során hozzásegítettek, hogy a magyarázat nehéz művészetében némi szakértelemre tegyek szert.

Richard Dawkins

Oxford, 1986.

1. FEJEZET

Megmagyarázni az alig hihetőt

Mi – állatok – vagyunk a legkomplikáltabb teremtmények az ismert világegyetemben. Az az univerzum, amit ismerünk, természetesen csak egy piciny része a ténylegesen létezőnek. Elképzelhető, hogy más bolygókon léteznek összetettebb objektumok, sőt az is lehet, hogy néhány közülük minket is ismer, ez azonban a lényegen mit sem változtat.

A bonyolult dolgok mindenhol különleges magyarázatra szorulnak. Kíváncsiak vagyunk, miért olyan bonyolultak, és honnan származnak. Okfejtésem szerint a válasz nagyjából egyező a világegyetem minden részén; ugyanaz vonatkozik ránk, a csimpánzokra, a férgekre, a tölgyfákra és az űrbéli szörnyekre. Másrésztől, ez az általam „egyszerűnek” nevezett dolgokra nem áll. Ilyenek például a sziklák, a felhők, a folyók, a galaxisok és a kvarkok. Ezek a fizika tárgyát képezik. A biológia „stábját” a csimpánzok, a kutyák, a denevérek, a svábbogarak, az emberek, a férgek, a pitypangok, a baktériumok és a galaktikus idegenek adják.

A különbség a felépítés komplexitásában rejlik. A biológia a komplikált dolgok tudománya, amelyek olyanok, mintha céltudatos tervezés eredményei lennének, a fizika pedig az egyszerű dolgoké, amelyek nem csábítanak minket arra, hogy létrejöttükhöz tervet tételezzünk fel. Első látásra az ember által készített egyes termékek, mint a számítógép és az autó kivételek ez alól. Ezek bonyolultak és nyilvánvalóan előzetes tervezés eredményei – bár nem élők, és inkább tekintjük őket fémből és műanyagból készülteknek, mint húsból és vérből valóknak. Ebben a könyvben azonban ezeket is biológiai objektumokként kezeljük.

Az Olvasó reakciója valószínűleg az lesz, hogy megkérdezi: „Rendben, de vajon *tényleg* biológiai objektumok ezek?” A szavak szolgálnak minket és nem mi a szavakat. Céljainknak megfelelően egymástól eltérő értelmezésekben használhatjuk azokat. A legtöbb szakácskönyv a tengeri rákot a halak közé sorolja. A zoológusok ettől rosszul lesznek, rámutatva arra, hogy a tengeri rákok sokkal jogosabban hívhatják az embereket halaknak, mivel a halak fejlődéstanilag közelebb állnak az emberekhez, mint a tengeri rákokhoz. És így, az igazságról és a tengeri rákokról medítálva rájöttem, hogy a parlament ma miért tartja olyan fontosnak törvénybe foglalni, vajon a rák rovar vagy csak egyszerűen „állat” (minekutána ez kihat arra, hogy az emberek megfőzhetik-e élve). Állattani szempontból a tengeri rákok termé-

szetesen nem rovarok. Állatok, de ugyanígy azok a rovarok is, és mi is azok vagyunk. Kevés olyan kérdés van, ahol az ember ennyire törődne azzal, hogy miként használja a szavakat (bár én a magánéletemben igencsak megválogatom, milyen szóval illessem azt, aki a tengeri rákokat élve főzi meg). A szakácsok és a jogászok speciális szófordulatokkal élnek – és ebben a könyvben én is így teszek. Ne törődjünk vele, hogy vajon az autók és a számítógépek tényleg biológiai objektumok-e. A lényeg az, hogy ha találunk egy bolygót, ahol egy bizonyos szintet meghaladó komplexitást tapasztalunk: ne habozzunk a következtetés levonásában, hogy azon a bolygón létezik-e vagy létezett-e az élet. A gépek az élők különféle készítményei: összetettségük és tervezettségük az élőktől származik, és általuk megállapítható egy bolygón az élet létezése. Ugyanerre utalnak a kövületek, a csontvázak és az elhalt testek is.

Azt mondtam, hogy a fizika az egyszerű dolgok tudománya, és ez első hallásra elég különösnek hat. A fizika azért tűnik bonyolultnak, mivel a fizika eszméit nehéz megérteni. Agyunk a vadászat, a gyűjtögetés, a párzás, a gyermeknevelés szintjére méretezett; a közepes nagyságú tárgyak világa ez, ahol korlátozott sebességgel, három dimenzióban zajlanak az események. Nem rendezkedtünk be a nagyon kicsi és a nagyon nagy befogadására, nem érzékeljük a dolgokat, amelyek pikoszekundumok vagy gigaévek alatt játszódnak le, sem a részecskéket, amelyeknek nincs helyzetük, sem az erőket és mezőket, mivel nem tudjuk megpillantani vagy megtámpintani ezeket; az, amit ismerünk belőlük, csakis onnan származik, hogy a hatásuk látható vagy érezhető. A fizika bonyolult – gondoljuk –, mert a megértése kemény dió, és mert a fizikakönyvek tele vannak nehéz matematikai képletekkel és egyenletekkel. De az, amit a fizika vizsgál, alapjában véve egyszerű: a gázfelhők, az icipici részecskék vagy az egyazon anyagi összetevőkből előálló kristályok a kis híján vég nélkül ismétlődő atomi mintázataikkal. Még a legelemibb biológiai mércével mérve sem játszódnak le bennük bonyolultabb folyamatok. Az egész nagy fizikai objektumoknak (mint pl. a csillagoknak) is meglehetősen jól behatárolhatók a részeik, noha többé-kevésbé esetleges képződmények. A fizikai rendszerek „magatartása”, a nem biológiai objektumok olyan egyszerűek, hogy leírásukra a matematika nyelvezete kifejezetten megnyugtató. Ez a magyarázata annak, hogy a fizikakönyvek miért vannak tele matematikai képletekkel.

Lehet, hogy a fizikakönyvek komplikáltak, de ezek – miként az autók és a számítógépek is – biológiai lények produktumai: az emberi agyaké. A fizikakönyv oldalain szereplő tárgyak és jelenségek mind sokkal elemibbek, mint e fizikakönyv szerzőjének egyetlen sejtje. És a szerzőnek billiói vannak ezekből a sejtekből, sok közülük más, mint a többi, bonyolult architektúrával rendszerezte őket egy láthatatlan kéz, precízen úgy, hogy végül egy működő masina kerekedett belőle, amely képes könyvet írni. Agyunk nehezebben kezeli az olyan dolgokat, amelyek komplikáltságukban végletesek, mint azokat, amelyek méreteikben vagy más, egyéb fizikai tulajdonságaik-

ban szélsőségesek. Eddig még soha senki nem vállalkozott arra, hogy egy fizikusnak – vagy akár csak egyetlen sejtjének – egész felépítését és viselkedését matematikai módszerekkel leírja. Mit tegyünk, hogy megértsük a legáltalánosabb érvényű alapelveket: hogyan működnek az élők, miért léteznek egyáltalán?

Ott vagyunk, ahonnan elindultunk. Meg akartuk tudni, miért létezőnk mi, és miért létezik a többi komplikált dolog. Föltehetjük a kérdést általánosságban, de még arra sem voltunk képesek, hogy magának a komplexitásnak a részleteire valamelyest rávilágítsunk. Élünk egy analógiával: a legtöbb ember nem tudja, hogyan működik a repülőgép. Valószínűleg maguk az építők sincsenek ezzel teljesen tisztában: a hajtóműhöz értő szakemberek valójában nem ismerik a szárnyak felépítését, a szárnyspecialisták pedig a hajtóműhöz nem értenek igazán. A szárnyszakértők nincsenek tisztában a szárnyak precíz matematikai leírásával, viszont képesek rá, hogy megjósolják a szárny viselkedését turbulencia felléptekor egy modell megfigyelésével a szélcsatornában vagy számítógépes szimuláció révén. Hasonlóképpen a biológus sem lát az előbe. Viszont, ha mi – bár tökéletlenül – megértjük a repülőgép működését: megtudjuk, mi az az általános folyamat, amely nélkül csak egy darab fém lenne. Az ember egy rajztáblán tervezte meg. A rajz alapján újabb emberek – vállalva még többel – az ugyancsak emberek által tervezett más gépek segítségével csavarozták, szögelték, hegesztették vagy ragasztották a darabjait, mindent a maga helyére. A folyamat, amelynek során egy ilyen repülőgép létrejön, alapjaiban nem titokzatos, mert az emberek építik. A terv átgondolása, a részek szisztematikus összeszerelése az a valami, amit mi tudunk, amihez értünk, s amiről az első saját tapasztalatokkal is rendelkezünk, ha máshonnan nem, hát még gyermekéveinkből, amikor különböző építő- és összerakójátékokkal játszottunk.

Mi a helyzet a testünkkel? Mi mind gépek vagyunk, mint a repülőgép, csak sokkalta komplikáltabbak. Minket is egy rajztáblán terveztek, részeinket egy ügyes mérnök rakta össze? A válasz: nem. Meglepő felelet és csupán alig több, mint egy évszázada ismerjük és tudjuk. Amikor Charles Darwin először magyarázta tanát, sok ember nem akarta vagy nem tudta elfogadni. Én magam határozottan visszautasítottam Darwin elméletét, amikor még gyermekként először hallottam róla. A történelemben majdnem mindenki – egészen a tizenkilencedik század második feléig – határozottan a Tudatos Tervezés teóriájában hitt, ami ennek az ellenkezője. Sok ember még mindig így gondolkodik, talán azért, mert létünk darwini magyarázata nem általános része a közoktatásnak. Mindenesetre széles körben félreértelmezik.

A címben szereplő órásmestert a tizennyolcadik században élt teológus, William Paley egyik híres tanulmányából kölcsönöztem. *A természet teológiája avagy létbizonyítékok és az isteni ténykedés jelei a természetből levezetve* című művét 1802-ben publikálták: mindmáig ez érvel a legmeggyőzőbben Isten léte mellett. Ez az a könyv, amit nagyon csodálok; szerzője,

amíg élt, el tudta érni azt, amiért én most harcolok. Egy dologhoz szenvedélyesen ragaszkodott: a hitéhez – és egyáltalán nem sajnálta a fáradságot, ha arról volt szó, hogy mondanivalóját a legvilágosabbá tegye. Sajátos tisztelettel övezte az élővilág összetettségét, és látta, hogy szükség van valami különös és átfogó magyarázatra. Az egyetlen dolog, amit elrontott – s ez kétségkívül elég nagy hiba! – éppen maga a magyarázat. A vallási hagyománynak megfelelően „derítette föl” a titkot, azonban ezt tisztábban és meggyőzőbben tette, mint bárki őelőtte. Az igazi magyarázat gyökeresen más, és azzal várnunk kellett minden idők egyik legforradalmibb gondolkodójára, Charles Darwinra.

Paley *A természet teológiáját* egy híressé vált passzussal kezdi:

„Átkelve egy pusztaságon egyszer csak lábam egy *kőbe* botlik, s én megkérdezem: hát ez honnan került ide; amire válaszolhatom azt, hogy az már időtlen idők óta ott hever, s mégsem keltem vele azt a benyomást, hogy képtelenséget állítok. Ám tegyük föl, hogy a földön egy *órára* bukkanok; arra a kérdésre, hogy az óra miként került oda: én aligha gondolhatok az előbbi válaszra, mert bárhogy törjem is a fejem, az óra váratlan feltűnésére nem lelek kielégítő magyarázatot.”

Paley itt azokat a különbségeket értékeli, amelyek a természetes fizikai objektumok (mint a *kő*) és a megtervezett és elkészített dolgok (mint az *óra*) között fennállnak. Utána részletesen kitér a precizításra, amellyel az óra fogaskerekei és rugói egymáshoz illeszkednek, majd részletesen foglalkozik azzal, hogy az óra mennyire bonyolultan van összeszerelve. Ha találunk egy tárgyat, például olyat, mint az óra a pusztában, és történetesen nem tudjuk miből lett és miért létezik: rá vagyunk kényszerülve, hogy a bonyolultsági foka alapján döntsünk:

„Azt az órát valakinek meg kellett alkotnia: léteznie kellett – ezen a helyen vagy máshol – egy vagy több mesternek, aki vagy akik el tudták azt készíteni. Ezért szól a válaszuk így: ő rendelkezett azzal a képességgel, hogy meg tudta azt tervezni.”

Éppen azt nem tudta senki megmagyarázni – ezen Paley is sokat elmélkedett –, hogy (megszemlélve a természet ténykedésének az eredményeit) okozatait tekintve mire jó az ateizmus:

„Az elgondoltság összes jele; a tervezettség minden megnyilvánulása, amelyek az óra létezésében fellelhetők: a természet részéről oly mértékű nagyszerűség megnyilvánulásai, amely minden képzeletet felülmúl.”

Paley az életgépezetet csodálattal és tisztelettel boncolgatta: kezdve az emberi szemem, amely Darwin egyik kedvenc példája volt a későbbiekben, és most ebben a könyvben újra színre lép. Paley összehasonlítja a szemet egy tervezett műszerrel (ilyen pl. a távcső), és levonja a következtetést:

„Pontosan ugyanúgy bizonyítható az, hogy a szem a látás céljából jött létre, mint az, hogy a távcsövet ennek elősegítésére készítették.”

A szemet meg kellett hogy tervezzék, éppen úgy, ahogy a távcsövet is.

Paley indoklása szenvedélyesen őszinte, és kora biológiája legrelevánsabb tudományos eredményeinek ismeretéről tanúskodik, de rossz: nyilvánvaló-

an és eredendően rossz. Az analógia a távcső és a szem, az óra és az élő organizmusok között sántít. Minden látszat ellenére a természetben az egyetlen órás-mesternek a fizika vak erői felelnek meg, bár azok igen nagy választékban találhatók. Egy igazi órás-mester előrelátó: megtervezi a fogaskerekeket és a rugókat, ezek kölcsönhatásait, szemében a jövő fényei cikáznak. A természetes szelekciónak, a vak, öntudatlan, automatikus folyamatnak, amelyet Darwin ismert fel, amelyről ma már tudjuk, hogy minden élő látszólagos célszerűségének magyarázata, valójában nincs célja és értelme. Nem gondolkodik és nem lát. Nem tervezi meg a jövőt. Nem vizionál, nem látnok, teljesen vak. Ha az órás-mester szerepét játssza a természetben, akkor ez a mester *világtalan*.

Ezt – és még sok mást – meg fogom magyarázni. De soha nem fogom lebecsülni az élő „órák” csodáját, amely már Paley-t is ihlette. Ellenkezőleg, megpróbálom itt részemről érzékeltetni annak nagyszerűségét, amit Paley nálam mélyebben megfogalmazott. Amikor hatalmába kerített ez a félelemmel vegyes tisztelet az élő „kronométerek” iránt, nem hallgattam senkire. Inkább William Paley tiszteletessel értettem egyet, mint a megkülönböztetett figyelemmel kísért modern gondolkodású filozófussal, egy jól ismert ateistával, akivel e témáról egy vacsora alkalmával beszélgettünk. Mondtam neki, hogy Darwin *A fajok eredete* című művének 1859-es megjelenése előtt nem tudok ateistát elképzelni. „És mi a helyzet Hume-mal?” – vágta rá a filozófus. „Hogyan magyarázza Hume az élővilág magas fokú szervezettségét?” – kérdeztem. „Nem magyarázza” – mondta ő. – „Miért szükséges erre külön magyarázat?”

Paley tudta, hogy ezt meg kell magyarázni; Darwin is tudta, és gyanítom, a lelke mélyén filozófustársam is tudta. Itt arra vállalkozom, hogy láttassam ezt. Ami magát David Hume-ot illeti, úgy mondják, hogy a nagy skót filozófus már egy évszázaddal Darwin előtt megfelelt a „Szándék bizonyítéka” kérdésre. Azonban amit Hume tett, az csak annak bírálata, miszerint a természetben előforduló szervezettség Isten létének *pozitív* bizonyítéka. Nem javasolt *alternatív* magyarázatot, hanem nyitva hagyta a kérdést. Egy ateista Darwin előtt Hume nyomán így fogalmazott: „Nem tudom megindokolni a komplex biológiai tervezettséget. Minden, amit tudok az, hogy Isten nem jó magyarázat; várunk kell és remélünk azt, hogy valaki egyszer csak előáll egy jobbal.” Ez a helyzet (bármennyire is logikusnak tűnik) szükségszerűen kívánnivalót hagy maga után; bár az ateizmus már Darwin előtt is tartható volt logikailag, de Darwin tette azt intellektuálisan kielégítővé. Szeretném azt gondolni, hogy Hume hasonlóan gondolkodott, de néhány írásából kiderül, hogy alábecsülte a biológiai tervezettség összetettségét és szépségét. A természetbúvár diák Charles Darwin rávezethette volna őt egy-két dologra, azonban amikor Darwin beiratkozott Hume egyetemére Edinburgh-ban, Hume már 40 éve halott volt.

Sokat és könnyen emlegettem a komplexitást és a látszólagos tervezettséget, minthogy nyilvánvaló, mit jelentenek ezek a szavak. Bizonyos értelem-

ben tényleg nyilvánvaló, a legtöbb embernek van intuitív elképzelése arról, hogy mit jelent a komplexitás. Azonban a komplexitás és a tervezettség olyan sarkalatosak e könyv szempontjából, hogy meg kell kísérelnem pontosabbá tenni ezeket a fogalmakat: próbálkoznunk kell, hogy valamiféleképp jobban körülhatároljuk őket.

Tehát mi a komplex dolog? Hogy ismerjük föl? És milyen értelemben felel meg az igazságnak az, hogy az óra, a repülőgép, egy százlábú vagy egy személy összetett, de a hold egyszerű? Az első, ami a szemünkbe ötlik – mintegy a komplex dolgok szükségszerű velejárójaként – az, hogy a struktúrájuk heterogén. A rózsaszínű tejes puding vagy az édes tejes-rumos zselé egyszerű abban az értelemben, hogy ha kettévágjuk, a két rész belső szerkezete ugyanaz: a zselé homogén. Az autó – eltérően a zselétől – heterogén: majdnem minden része különbözik a többitől. Kétszer fél autó nem egy autó. Ez gyakran egyenértékű lesz azzal, hogy a komplex objektumok – ellentétben az egyszerűekkel – több részből állnak, és ezek az alkotók különböznek egymástól.

Az ilyen heterogenitás vagy „sok részre osztottság” lehet szükséges, de korántsem elégséges feltétel. Szerte a világon bőven találhatóak részekre bontható, belső szerkezetüket tekintve heterogén objektumok, de ezek, az én értelmezésem szerint, nem összetettek. A Mont Blanc például sok-sok különböző sziklából épül fel, és oly módon van összekeverve, hogy ha a hegyet valahol elvágánk, a keletkező két rész belső szerkezete különbözne egymástól. A Mont Blanc struktúrája heterogén, ami nem jellemző az édes zselére, de ez még mindig nem komplexitás abban az értelemben, ahogy egy biológus ezt a terminust használja.

Próbáljuk meg föltenni a komplexitás definíciójára vonatkozó kérdésünket egy másik irányból, és alkalmazzuk a valószínűség matematikai elméletét. Próbáljuk ki a következő definíciót: komplex dolog az, amelynek részei úgy rendeződnek, hogy annak visszavezetése a véletlenre valószínűtlen. Vegyünk kölcsön egy analógiát egy kiváló csillagásztól: ha találomra illesztjük össze egy repülőgép részeit, akkor nagyon kicsi annak esélye, hogy az így született szerkezet működő Boeing lesz. Sokbilliónyi módon lehetséges egy repülőgép részeit összetákolni, de ebből csak egy vagy néhány az, amely ténylegesen repülőgéphez vezet. Még ennél is kisebb az esély, ha az alkotórészeiből egy ember fabrikálása a cél.

Helyes irányból definiáljuk a komplexitást, de hiányzik még valami. Sokbillióféleképpen összerakosgathatjuk a Mont Blanc részeit, azonban a változatok közül csak az egyik a Mont Blanc. Mi teszi a repülőgépet és az embert összetetté, és a Mont Blanc-t egyszerűvé? A részek ősi kuszasága az egyedi benne és – *utólagos éleslátással* – ez pont olyan valószínűtlen, mint az összes többi. A repülőgépüzda udvarán elterülő ócskavashalom utánózhatatlan, nincs két ugyanolyan. Ha ön elkezdené a repülő darabjait egy kupacba dobálni, annak valószínűsége, hogy kétszer tökéletesen ugyanaz az elrendezés jöjjön létre pontosan annyi, ahányszor ilyen módszerrel működő

gép keletkezik. Miért nem mondjuk a szeméttelepet, a Mont Blanc-t vagy a holdat éppen úgy összetettnek, mint egy repülőgépet vagy egy kutyát, arra hivatkozva, hogy az atomok elrendeződése mindkét esetben „valószínűtlen”?

A biciklim kombinációs zárja 4096 különböző helyzetet vehet föl. Ezek egyformán „valószínűtlenek”, ami azt jelenti, hogy ha a hengereket véletlenszerűen elforgatjuk, a 4096 variáció mindegyike egyenlő eséllyel fordul elő. Így sikerülhet akármelyik szám, aztán utólag megbizonyosodva éleslátásunkról, fölkiálthatunk: „Mily bámulatra méltó! Annak esélye, hogy pont ez a szám forduljon elő 1 : 4096. Kisebbfajta csoda!” Mindez egyenértékű a hegy szikláinak vagy a roncsalom fémdarabjainak különleges elrendeződésével, így „komplexnek” tekintjük őket. Azonban a 4096 állás közül egy tényleg nagyon egyedi: csak az 1207-es kombináció nyitja a lakatot. Az 1207-es egyediségében nincs semmi rendkívüli: készítője azt előre meghatározta. Ha ön véletlenszerűen elforgatva a kerekeket előszörre ráhibázik az 1207-es számra – ami egy kisebbfajta csodával ér fel – ellophatja a biciklit. Ha egy bankszéf zárjának a megfelelő kombinációját eltalálnánk a sok közül, az tényleg csoda lenne, hiszen a sok millió közül csak egy a jó.

A példánkban szereplő szerencsés bankrablás és annak a valószínűsége, hogy a véletlenszerűen egymásra dobált fémdarabkákból végül egy Boeing 747-es alakul ki, majdnem ugyanaz. A kombinációs zár egyedi, és visszatekintve egyformán valószínűtlen helyzeteinek milliói közül csak egy nyitja a zárat. Hasonlóképpen, a roncsalmaz darabjainak elrendeződéséből is több millió van, de csak egy (vagy néhány) olyan, amely repülni fog. A repüléshez vezető elrendeződés és a zár kombinációja olyan páratlan jelenség, amit nem lehet utólagosan megmagyarázni. Előre meg vannak határozva. A zárkészítő fixálta a kombinációt, majd megmondta a bankigazgatónak. A repülés képessége a repülőgépnek az a sajátsága, amit mi előre meghatározunk. Így ha szállni látunk egy gépet a magasban, biztosak lehetünk: összeszerelésében nem a véletlen segédkezett, mivel tudjuk, hogy túl furcsa és egyedülálló lenne, ha egy véletlen konglomeráció repülne.

Ha a sziklák helyzetének összes lehetséges variációját áttekintjük, rájövünk, hogy csak egyből lesz igazi Mont Blanc. De a Mont Blanc-t csupán utólag okoskodva definiáltuk. A sziklákat összerakva bármely változat megállná a helyét mint hegy, és joggal nevezhetnénk el Mont Blanc-nak. Nincs semmi különleges a Mont Blanc-ban: nem szabja meg előre semmi, nem lehet párhuzamot vonni közötté és a repülőgép felszállása vagy a páncélszekrény zárjának a kinyitása között.

Mi a közös a kombinációs zárú széfajtóban, a működő repülőgépben és az élőlényben? Nos, némely esetben majdnem ugyanaz. A fecskék repülnek. Mint láttuk: nem könnyű egy repülő masinát összeeszkábálni. Ha mi a fecske összes sejtjét véletlenszerűen összerakjuk, annak esélye, hogy az így keletkezett objektum képes lesz repülni, gyakorlatilag nulla. Nem minden élő repül, de tudnak mást, ami legalább annyira valószínűtlen és éppoly

mértékben előre körülhatárolható. A bálnák nem repülnek, hanem úsznak, és ebben körülbelül olyan hatékonyak, mint a fecskék a szárnyalásban. Annak esélye, hogy a bálnasejtek véletlen tömege úszni tud, a sebességről és a hatékonyságról nem is szólva: elhanyagolható.

Ennél a pontnál néhány sasszemű filozófus (a sasnak nagyon éles a szeme – nem tudjuk lencséből és fényérzékelő sejtekből véletlenszerűen összerakni) elkezd motyogni az önmagába visszatérő, körkörös érvelésről: a fecskék röpködnek, de nem tudnak úszni, a bálnák pedig úsznak, de nem repülnek. Utólag határozzuk el, hogy véletlenszerű konglomerációink sikerességét a repülés vagy az úzás alapján bíráljuk el. Tegyük fel, hogy megegyezünk X cselekvés sikerességének megítélésében és hagyjuk nyitva a „pontosan mi is az X” kérdését, amíg meg nem próbáltuk összerakni a sejteket. A sejtek véletlen halmaza lehet egy hatékony földtúró, mint a vakond, de jó famászó is válhat belőle, mint a majom. Lehet nagyon jó hullámlovas, vagy egyre szűkülő körökben jár körben, mígnem teljesen eltűnik. A lista még folytatható tovább és tovább... Vagy mégsem?

Ha a sort tényleg *tudnánk* a végtelenségig folytatni, a képzeletbeli filozófusoknak lenne valami igaza. Ha a bármely módon összedobált anyagból keletkező konglomerációra utólag rá lehet fogni, hogy *jó valamire*, akkor joggal mondható, hogy megtévesztő volt a fecskével és a bálnával kapcsolatos példám. Azonban a biológusok sokkal pontosabban fogalmaznak, mintsem azt mondanák, hogy „jó valamire”. A minimális követelménye annak, hogy valamit állatként vagy növényként ismerjünk el, hogy valamiféle életet tudjon mutatni; legalábbis néhány közülük elég hosszú életű legyen ahhoz, hogy reprodukálja önmagát. Igaz, hogy nagyon sokféle életmód létezik: repülő, úszó, a fák között himbálódzó és így tovább. De *bármily számos is az élők létformája, bizonyos, hogy a halottaké* – vagy inkább a nem élőké – *összehasonlíthatatlanul nagyobb*. Rakosgathatjuk a sejteket véletlenszerűen újra és újra, akár milliárd éven át, mégsem lesz olyan halmazunk, amely repül vagy úszik, földet túr vagy fut vagy *bármit* csinál – akár csak tökéletlenül is –, és hosszú ideig fenntartja önmagát.

Hosszan tartott az előbbieik indoklása: itt az ideje, hogy emlékeztessük magunkat, mi készített bennünket arra, hogy ezeket vettük az első helyre. Pontosán behatárolható utat kerestünk, amelyen végighaladva ki tudjuk fejezni, mi alapján sorolunk valamit a komplikált dolgok csoportjába. Megpróbáltunk jó irányba haladni, miközben fölvetettük a kérdést: mi az, ami közös az emberben, a vakondban, a földigilisztában, a repülőgépben és az órában, és miben különböznek ezek az édes tejes-rumos zselétől, a Mont Blanc-tól vagy a Holdtól. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a komplikált dolgoknak van valamilyen előre meghatározható tulajdonságuk, mégpedig olyan, amelyre valószínűtlen, hogy a véletlen pusztá szeszélye révén tettek szert. Az élő dolgoknál ez az előre meghatározott minőség egy bizonyos értelemben „képességet” jelent; különleges adottságok kellenek a repüléshez, amit egy repülőgép-tervező joggal csodálhat, de rátermettséget

igényel még egy sor általános jelenség, mint pl. a halál elkerülésének vagy a reprodukció során a gének továbbadásának a képessége.

Azon kell munkálkodnunk, hogy távol tartsuk a halált. A test magára hagyva – függetlenül attól, hogy mi volt, mielőtt beállt a halál állapota – arra törekszik, hogy egyensúlyba kerüljön a környezetével. Ha megmérjük az élő szervezet néhány állandóját, például hőmérsékletét, savasságát, víztartalmát vagy elektromos potenciálját, azt tapasztaljuk, hogy a mért értékek jellegzetesen különböznek a környezetében mérhetőktől. A mi testünk például általában melegebb, mint a környezet, és hideg időben (vagy éghajlaton) keményen kell dolgoznia, hogy fenntartsa a hőmérséklet-különbséget. Mikor meghalunk, ez a munka leáll, a hőmérséklet-differencia elkezd kiegyenlítődni, ugyanazon a hőfokon végezzük, mint a környezetünk. Nem minden állat munkálkodik keményen azon, hogy elkerülje a környezet hőmérsékletével azonos hőfokra kerülést, de *valamilyen* ehhez hasonló tevékenységet mindegyik végez. Például a száraz klímájú országokban az állatok és a növények munkát végeznek, hogy megtartsák sejtjeik nedvességtartalmát, s ez a munka a víz természetes mozgása ellen folyik, mivel a száraz környezetben a nedvesség hamar elillan. Ha ezt rosszul csinálják, elpusztulnak. Általánosabban, ha az élők nem harcolnak elég aktívan ezt megakadályozandó, eggyé olvadnak környezetükkel, és mint önálló lények megszűnnek létezni. Ez történik, amikor meghalnak.

A mesterségesen létrehozott gépeket kivéve, amelyeket tiszteletbeli élőlényeknek tekintünk, az élettelen dolgok – ebben az értelemben – nem működnek. Alávetik magukat azoknak az erőknek, amelyek rákényszerítik őket a környezettel való egyensúlyra. A Mont Blanc biztos, hogy hosszú ideje áll már, és valószínűleg így marad még egy ideig, viszont nem tesz semmit fennmaradásáért. Ha egy szikla a gravitáció hatására stabil pozícióba kerül, ott marad. Semmit nem kell tennie azért, hogy ott maradjon. A Mont Blanc létezik és létezni fog mindaddig, amíg el nem kopik vagy egy földrengés el nem pusztítja. Nem tesz lépéseket avégett, hogy kijavítgassa az elhasználódott részeket, kopásokat vagy, hogy helyrepopofozza magát egy-egy földrengés után: ilyet csak az élők tesznek. Kizárólag közönséges fizikai törvényszerűségeknek engedelmeskedik.

Megkérdőjelezi ez azt, hogy az élők meghajolnak a fizikai törvények előtt? Természetesen nem. Nincs okunk azt feltételezni, hogy az élő anyagban ezek nem érvényesülnek. Nincs semmi természetfölötti, „életerő” sem létezik, amely versenyre kelne a fizika alaptörvényeivel. Csupán az a helyzet, hogy ha – gondolkodás nélkül – fizikai törvényekkel próbáljuk leírni a *teljes* élő testet, nem jutunk messzire. A test rengeteg alkatrészből álló komplex tárgy, és hogy megértsük viselkedését, használnunk kell a fizika törvényeit, de ezzel csak egyes részek világosodnak meg, az egész nem. A szervezet, mint egész, a részek kölcsönhatásának eredőjeként bukkan föl.

Vegyük például a mozgás törvényszerűségeit. Ha egy halott madarat a levegőbe dobunk, az szép parabolát ír le a levegőben (pontosan úgy, ahogy

a fizikakönyvekben leírják), azután talajt ér és ott is marad. Úgy viselkedik, mint ahogyan egy meghatározott tömegű és légellenállású testnek illik. Azonban az élő madár – ha eldobtuk – nem parabolapályát fut be, és nem esik le a földre. Tovább fog repülni, és valószínűleg csak messze távolban fog leszállni.

Ennek az az oka, hogy izomzata legyőzi az egész szervezetre ható gravitációt és más fizikai erőket. A fizika törvényeinek az izomzat összes sejtje aláveti magát. Az eredmény: az izomrendszer úgy mozgatja a szárnyakat, hogy a madár a levegőben maradjon. A madár nem sérti meg a gravitáció törvényét. A gravitáció állandóan lefelé húzza, de mivel szárnyai aktív munkára vannak berendezkedve – az izomban a fizika törvényei érvényesülnek –, a madár a gravitációs erő ellenében is a levegőben tud maradni. Azt gondolhatjuk, hogy szembeszáll a fizikai törvénnyel, de közben számoljunk azzal, hogy az élő nem csupán bizonyos tömeggel és légellenállással rendelkező, strukturálatlan anyagdarab. Az csak egy dolog, hogy a madár megszámolhatóan sok belső része a saját szintjén mind engedelmeskedik a fizika törvényeinek: ez az, amit tudunk az egész szervezet viselkedéséről. Természetesen ez nem az élők sajátossága: minden ember készítette masinára vonatkozik, sőt potenciálisan minden komplex, sok részből álló objektumra érvényes.

Ezzel eljutottunk ennek az inkább filozófiai fejezetnek az utolsó témájához, vagyis ahhoz, hogy mit értünk magyarázat alatt. Már áttekintettük, hogy mit értelmезünk majd komplexnek. De miféle magyarázat lesz kielégítő számunkra, ha kíváncsiak vagyunk, hogy a komplikált dolgok vagy az élő szervezetek hogyan működnek? A válasz az előző bekezdésben fogalmazódik meg. Ha meg szeretnénk érteni a gépeket vagy az élőket, megvizsgáljuk komponenseiket és rákérdezünk, hogy ezek milyen kapcsolatban vannak egymással. Ha egy komplex dolgot nem értünk, megvan a lehetőségünk, hogy egyszerű, általunk már megértett összefüggések segítségével magyarázzuk meg azt.

Ha én megkérdem egy mérnököt, hogyan működik a gőzmozdony, el tudom képzelni, milyen egy kielégítő válasz. Akárcsak Julian Huxley, én sem vagyok elragadtatva attól, ha egy mérnök úgy fogalmaz, hogy a mozdonyt *gépi erő* hajtja. És ha elkezd untatni azzal, hogy a gép egésze mennyivel több, remekebb, mint az összes alkotója együttvéve, félbeszakítom: ne ezzel törődjön, mondja el hogyan *működik*. Arról szeretnék valamit hallani, hogy milyen kölcsönhatásban vannak a gép részei, aminek eredményeként így viselkedik a szerkezet. Szeretném, ha először elmagyarázná, hogy vannak nagyobb alegységek amelyek saját belső struktúrája és működése egészen bonyolult is lehet, és ezeket csak később magyarázná meg. A kiindulásként elfogadható magyarázat egységeinek lehetnek elnevezései, mint tűszekrény, kazán, hengerdob, dugattyú és gőzszabályozó. A mérnök – kezdetben magyarázat nélkül – ecseteli, hogy ezek az alkatrészek mit csinálnak. Egyelőre elfogadom így, anélkül hogy megkérdném, hogyan látják el ezek

feladatukat. *Feltéve*, hogy mindegyik egység elvégzi a rászabott feladatot, és ennek alapján meg tudom érteni, hogyan működnek együtt és lendítik mozgásba a gépet.

Természetesen ezután már jogom van megkérdezni, hogy az egyes részek külön-külön hogy működnek. Előzetesen *tényként* elfogadtam, hogy a gőzszabályozó a gőz áramlását szabályozza, és a teljes szerkezet viselkedésének megértéséhez én is ebben az értelemben használtam. Most magára a gőzszabályozóra vagyok kíváncsi, és mint a rendszer belső alkotórészét szeretném megérteni, miért működik úgy, ahogy. Az alkotóelemeknek is vannak alrészeik. Megmagyarázzuk adott szinten egy alkatrész működését annak elemeinek a kölcsönhatásairól alkotott ismereteink segítségével, mely utóbbiaknak szintén van belső szerkezetük, s ez egy pillanatig magától értetődőnek tűnik. Addig boncoljuk a hierarchiát, amíg olyan egyszerű egységekhez nem érünk, hogy a mindennapos használat szempontjából nem érezzük szükségét a további kérdésnek. Legtöbben közülünk például – helyesen vagy helytelenül – megelégszünk a rideg vasrúd adott tulajdonságaival, és késznek mutatkozunk arra, hogy az őket tartalmazó, komplikáltabb dolgok magyarázatához egységként használjuk fel.

A fizikusok természetesen nem tekintik maguktól értetődőnek a vasrudakat. Megkérdezik, miért merevek, és lehámoznak a hierarchiából még néhány réteget, eljutva az elemi részecskékhez és a kvarkokhoz. De legtöbbször túl rövid az élete nyomon követni ezeket. Akármelyik komplex szerkezetről kielégítő magyarázatot adhatunk, ha akár csak egy vagy két hierarchiaszintet képesek vagyunk lehámozni. Az autó működését hengerdobok, karburátorok és gyújtógyertyák segítségével magyarázzuk. Igaz, alacsonyabb szinteken az összes összetevőnek külön piramisa van, s a rá vonatkozó magyarázat megmarad a maga alacsonyabb szintjén. Azonban, ha Ön megkérdezné tőlem, hogyan működik az autó, meglehetősen nagyképűnek tünnék, ha úgy válaszolnék, hogy Newton törvényei és a termodinamikai törvények megoldják ezt a problémát, és egyenesen arcátlan népbutítónak gondolnának, ha az elemi részek viselkedésével indokolnék. Kétségtelen, hogy az autó motorjának működése alapján véve az elemi részek kölcsönhatásaira vezethető vissza. De magyarázatunkhoz mégis sokkal inkább a dugattyúk, a hengerdobok és a gyújtógyertyák kölcsönhatása tartozik.

A számítógép működését meg lehet magyarázni a félvezetők elektromos kapcsolatainak kölcsönhatásaival és ezek viselkedését tovább a fizikusok még mélyebb szinten értelmezhetik. A gyakorlat azt igazolja, hogy legtöbb esetben időpocsékolás, ha – akármelyik szinten – megpróbáljuk megérteni a számítógép működését. Túl sok az elektromos csatlakozás. Az elfogadható magyarázat kezelhetően kisszámú kölcsönhatás figyelembevételével születik. Ez az oka annak, hogy ha meg szeretnénk érteni a számítógép működését, jobban kedveljük azt a megoldást, ha előzetesen fölvilágosítanak vagy féltucat összetevőjének a jellegzetességéről: ilyen a memória, a feldolgozó-

egység, a háttértároló, az ellenőrző egység, az input–output csatlakozás stb. Ha ezek kölcsönhatásait már megértettük, akkor térjünk át a belső szerkezetükre. Valószínűleg csak a szakemberek mennek tovább az „és” (AND) és a „sem” (NOR) kapuk szintjéig – és csak a fizikusok foglalkoznak azzal, hogy hogyan viselkednek az elektronok a félvezetőkben.

Az „izmusok” sorából az én megközelitésem, amely a dolgok működésének megértésére irányul, valószínűleg a „hierarchikus redukcionizmus” elnevezést kapná. Ha ön olvassa a modern intellektuális folyóiratokat, észrevehette, hogy a „redukcionizmus” egyike azon bűnöknek, amelyekkel csak az ellenzőik foglalkoznak. Az, hogy valaki redukcionistaának nevezi magát, bizonyos körökben kicsit úgy hangzik, mintha beismerte volna, hogy meg-evett egy kisgyereket. Azonban ahogyan valójában senki nem eszik gyereket, úgy senki sem igazi redukcionista oly mértékben, hogy támadni kéne. A nemlétező redukcionista – akivel mindenki szembeszáll, és aki csupán a képzelet szüleménye – a *legkisebb* részek segítségével *direkt* módon próbálja a komplikált dolgokat magyarázni úgy, mintha a részek *összességével* indokolna; ez a fantazmagóriák szélsőséges verziói közé tartozik. Másrésről, a hierarchikus redukcionista a komplex entitást a szervezet hierarchiájában magyarázza: kategorikusan úgy tekinti, mintha az entitás is csak a hierarchia egyik fokozata lenne – annak dacára, hogy az entitás már maga is elég összetett ahhoz, hogy szükségét érezzük tovább redukálni saját komponenseire. Bár a mesebeli gyermekevő redukcionista tagadja, magától értetődik, hogy az a magyarázat, amely a hierarchia magasabb szintjén elfogadható, teljesen különbözik attól, amelyet alacsonyabb szinten tartunk megfelelőnek. Ez volt magyarázatunk lényege, mikor is az autók megértéséhez inkább a karburátorokat hívtuk segítségül, mint a kvarkokat. Azonban a hierarchikus redukcionista kisebb egységekkel világítja meg a karburátor működését, amelyeket ugyancsak kisebb egységekkel magyaráz, míg végül is eljut a legkisebb fundamentális részecskékig. A redukcionizmus ebben az értelemben csupán másik megnevezése annak, amit a dolgok kifürkészésének hívnak.

Azzal kezdtük ezt a részt, hogy megkérdeztük: a komplikált dolgokra milyen kielégítő magyarázat adható. Éppen most mérlegeltük a kérdést a mechanizmus szemszögéből: hogyan működik? Úgy döntöttünk, hogy az összetett dolgok viselkedése komponenseinek kölcsönhatásán alapul, amelyek szabályos hierarchiában rétegződve egymásból következnek. Más kérdés azonban az, hogy miként jöttek létre először a bonyolult dolgok. Ezzel a problémával részletesen is foglalkozik a könyv, így itt nem beszélek sokkal többet róla, csak azt említem meg, hogy ugyanaz az általános alapelv vonatkozik erre is, mint a szerkezet működésére. A komplikált dolgok létét nem érezzük magától értetődőnek, mivel túl „valószínűtlenek”. A véletlen egyetlen mozzanata nem elegendő életre hívásukhoz. Úgy értelmezzük majd, hogy fokozatos (graduális), összegződő (kumulálódó), lépésenkénti átalakulások (transzformációk) vezetnek létrejöttükhöz egyszerűbb dolgok-

ból, ősi objektumokból, amelyek elég egyszerűek ahhoz, hogy a véletlen hívhatta őket életre. Ahogyan a „nagyléptékű redukcionizmus” nem tud magyarázatot adni a mechanizmusra: megértéséért vissza kell térnünk a kis lépésekhez, hogy tovább hámozhassuk a hierarchiát, ugyanúgy nem magyarázhatjuk az összetett dolgok *eredetét* sem egy lépésben. Újra a sorozatos kis lépésekhez kell folyamodnunk, amelyek ez esetben időben egymás után következnek.

Az oxfordi fizikokémikus Peter Atkins csodálatos könyvében, a *Teremtésben* így indít:

„Egy kis csavargásra hívom szellemüket. A megismerés útjára, amely elvezet bennünket a tér, az idő és a megértés határaihoz. Amellett fogok érvelni, hogy minden megismerhető, mindent meg lehet magyarázni és minden rendkívül egyszerű. A világegyetem nagy részét nem szükséges megmagyaráznunk. Például az elefántokat. Egyes molekulák megtanultak versenyezni és saját képükre más molekulákat létrehozni; az elefántokat és az elefántokhoz hasonló dolgokat is a megfelelő versenytéren fogjuk megtalálni amint a pusztában kószálnak.”

Atkins feltételezi, hogy a komplex dolgok evolúcióját – amely ennek a könyvnek a tárgya – a megfelelő fizikai állapot szükségszerűen idézte elő. Megkérdezi, melyek a legalapvetőbb, elengedhetetlen körülmények és melyik az a legkisebb tervezett egység, amely még működik: nagyon lusta lehetett a Teremtő, aki létrehozta ezt avégből, hogy egy nap a világegyetem, később az elefántok és más komplex dolgok keletkezessenek. A válasz a fizikusok szemszögéből az, hogy a Teremtő végtelenül rest. A legalapvetőbb kiindulási elemek, amelyekre szükségünk van annak érdekében, hogy az összes létező eredetét megértsük: vagy a szó szoros értelmében nem foglalnak magukban semmit (miként azt néhány fizikus állítja), vagy (a többi fizikus szerint) ezek a lehető legegyszerűbbek – messze egyszerűbbek annál, amit egy körültekintő Teremtő igényelne.

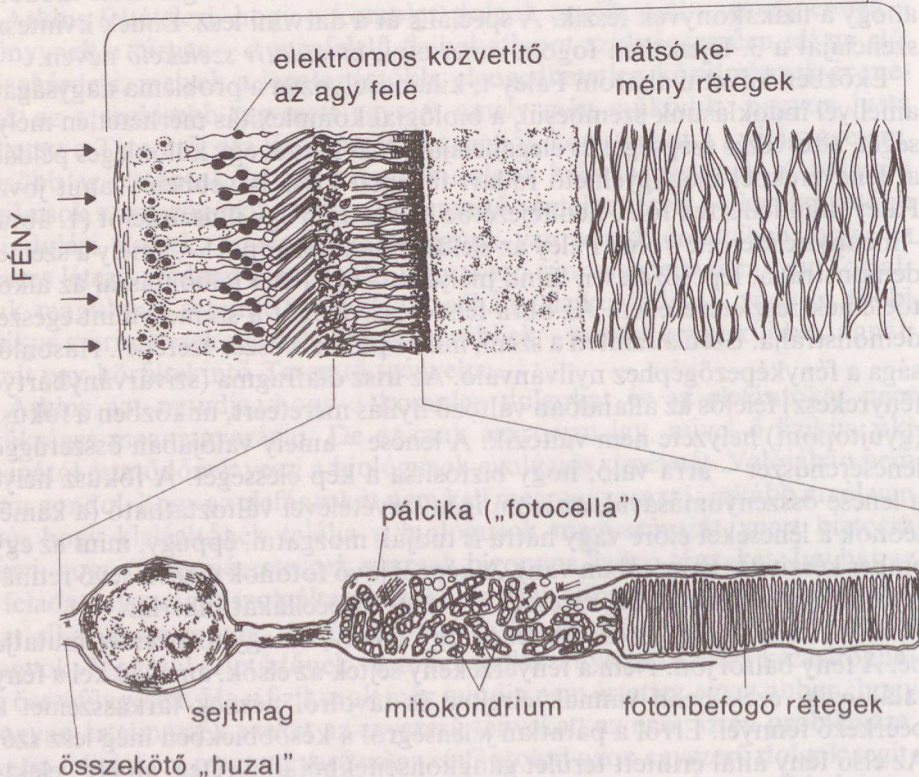
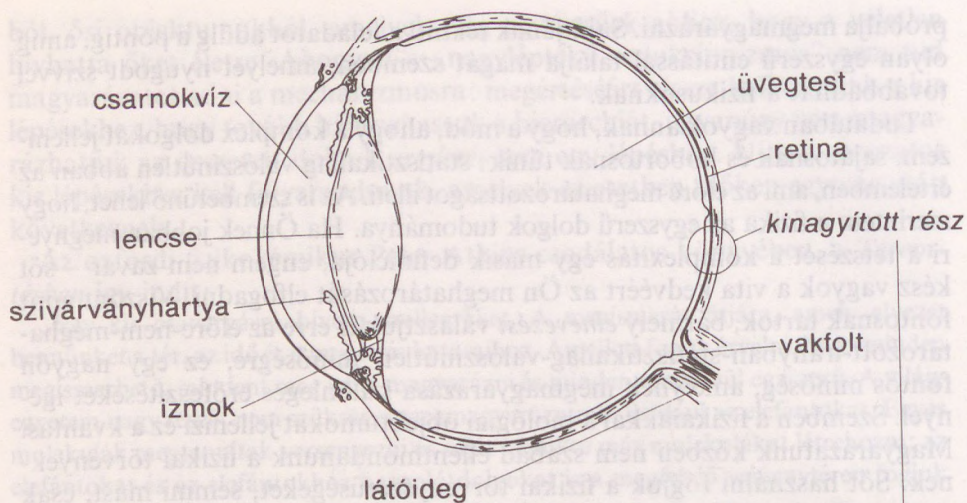
Atkins azt mondja, hogy a komplex dolgokat és az elefántokat nem szükséges megmagyarázni. De ez csak azért van így, mivel ő fizikus, aki magától értetődőnek veszi a biológusok evolúciós elméletét. Valójában nem arra gondol, hogy az elefántokat nem kell megmagyarázni; inkább arról van szó, hogy kielégítőnek találja a biológusok magyarázatát, mert biztosra veszi, hogy ők természetesen vesznek bizonyos fizikai tényeket. Így hát az ő feladata igazságot szolgáltatni azoknak, akik elfogadják ezeket a tényeket. Ezt sikerül megtennie. Az én feladatom kiegészítője ennek. Én biológus vagyok. Magától értetődőnek veszem a fizika tényeit és a világ kézzelfogható összefüggéseit. Ha a fizikusok még mindig nem értettek egyet abban, hogy hogyan értelmezzék ezeket az egyszerű tényeket, az nem az én problémám. Az én feladatom megmagyarázni az elefántokat azon egyszerű dolgok segítségével, amiket a fizikusok vagy megértettek, vagy sem, és így tovább dolgoznak rajtuk. A fizikusok problémája a végső eredet és az alapvető természeti törvények tisztázása. A biológus problémája a komplexitás. A biológus az összetett dolgok működését és keletkezését az egyszerűbbek segítségével

próbálja megmagyarázni. Sajátjának tekinti a feladatot addig a pontig, amíg olyan egyszerű entitással találja magát szemben, amelyet nyugodt szívvel továbbadhat a fizikusoknak.

Tudatában vagyok annak, hogy a mód, ahogy a komplex dolgokat jellemzem, sajátosnak és hóbortosnak tűnik: statisztikailag valószínűtlen abban az értelemben, ami az előre meghatározottságot illeti. Az is szembetűnő lehet, hogy szerintem a fizika az egyszerű dolgok tudománya. Ha Önnek jobban megye-ri a tetszését a komplexitás egy másik definíciója, engem nem zavar – sőt kész vagyok a vita kedvéért az Ön meghatározását elfogadni. Viszont amit fontosnak tartok, bármely *elnevezést* választjuk is erre az előre-nem-meghatározott-irányban-statisztikailag-valószínűtlen minőségre, ez egy nagyon fontos minőség, amelynek megmagyarázása különleges erőfeszítéseket igényel. Szemben a fizikaiakkal a biológiai objektumokat jellemzi ez a minőség. Magyarázatunk közben nem szabad ellentmondanunk a fizikai törvényeknek. Sőt használni fogjuk a fizikai törvényszerűségeket, semmi mást, csak azokat. Csatarendbe fogjuk állítani őket – de nem a megszokott módon, ahogy a fizikakönyvek teszik. A speciális út a darwini lesz. Ennek kvintesszenciáját a 3. fejezetben fogom ismertetni, *kumulatív szelekció* néven.

Eközben követni akarom Paley-t, kihangsúlyozva a probléma nagyságát, amellyel indoklásunk szembesül, a biológiai komplexitás mérhetetlen mélységét, a tervezés szépségét és eleganciáját. A 2. fejezet egy különleges példát, a denevéreknél megfigyelhető radart fejtegeti kissé bővebben – amit jóval Paley után fedeztek föl. Jelen fejezetbe beiktattam egy illusztrációt (1. ábra) – mennyire szeretne volna Paley az elektronmikroszkópot! –, amely a szemet demonstrálja, lépcsőzetesen mind mélyebbre szállva a felbontással az alkotóelemek részletezésében. Az ábra felső része magát a szemet, mint egészet demonstrálja. Ezen a szinten a szem, mint optikai műszer szerepel. Hasonlósága a fényképezőgéphez nyilvánvaló. Az írisz diafragma (szivárványhártya fényrekesz) felelős az állandóan változó nyílás méretéért, miközben a fókusz (gyújtópont) helyzete nem változik. A lencse – amely valójában összefüggő lencserendszer – arra való, hogy biztosítsa a kép élességét. A fókusz helye a lencse összenyomásával, az izom igénybevételeivel változtatható (a kaméleonok a lencsüket előre vagy hátra is tudják mozgatni, éppúgy, mint az egy ember készítette kamerában van). A képről jövő fotonok a hátul levő retinát (renehártyát) bombázzák, és ezzel az itteni fotocellákat ingerlik.

Az 1. ábra középső része a retina egy piciny, elnagyított részét mutatja be. A fény balról jön. Nem a fényérzékeny sejtek az elsők, amelyekkel a fény találkozik, ezek belül vannak elrejtve és távolról néznek farkasszemet a beérkező fénnel. Erről a páratlan jelenségről a későbbiekben még lesz szó. Az első fény által érintett terület ganglionsejtekből álló réteg, amely „elektronikus közvetítőként” (interface-ként) működik a fotocellák és az agy között. Valójában a ganglionsejteknek az a funkciójuk, hogy kifinomult módon előzetesen feldolgozzák az információt mielőtt továbbadnák az agynak, ezért a „közvetítő” kifejezés nem egészen megfelelő. A „csatlakozó



1. ábra

(szatellita) komputer” elnevezés találóbb. A ganglionsejtek huzaljai a retina felszínén futnak a vakfoltig, ahol a retinán keresztül egy fővezetékbe torkollnak, amely az agyhoz vezet: ez a látóideg. Az „elektronikus közvetítőben” körülbelül hárommillió ganglionsejt van és összesen 125 millió fotocelláról gyűjtik be az információt.

Az ábra alján egy felnagyított fotocella, egy pálcika látható. Megfigyelhető, hogy ennek a sejtnak milyen finom szerkezetű a felépítése, s ez a komplexitás minden retinában 125 milliószor ismétlődik. És hasonló mértékű komplexitás ismétlődik több trilliószor az egész szervezetben. A 125 millió fotocella által alkotott kép körülbelül 5000-szer jobb felbontású, mint egy jó minőségű képes magazin fotója. Az igazi fényérzékelő szerkezet a fotocellát ábrázoló ábra jobb oldalán található összehajtogatott membrán. A rétegződött forma megnöveli a fotocella hatékonyságát, fotonbefogó képességét. A fotonok a fény részecskéi. Ha a foton áthalad az első membránon, a másodikon vagy az utána következőn még fennakadhat. Ez ahhoz vezet, hogy némely szem egyetlen foton érzékelésére is alkalmas. A legbiztosabb és legérzékenyebb filmemulciónak, amit a fotósok használnak, 25-ször ennyi fotonra van szüksége, hogy egy fénypontot detektáljon. A sejt középső részén leginkább mitokondriumok találhatók. A mitokondriumok nemcsak fotocellákban fordulnak elő, a legtöbb sejt tartalmazza őket. Mindegyiket egy-egy kis kémiai gyárnak lehet tekinteni, amely elsődlegesen energiát szolgáltat: több mint 700-féle vegyületet állít elő, ezeket bonyolult belső membránrendszerével építi föl. Az ábra alsó részének bal oldalán levő gömböcske a sejtmag (nukleusz). Ez szintén jellemző minden állati és növényi sejtre. Minden nukleusz, amellyel még találkozunk az 5. fejezetben, információtartalomban nagyobb kódolt adatbázissal rendelkezik, mint az *Encyclopaedia Britannica* 30 kötete. És ezek a számok külön-külön minden egyes sejtre vonatkoznak, és nem a test sejtjeinek összességére.

A pálcika a kép alján csak egy sejt. Az emberi test összes sejtjeinek száma 10 billió körül mozog. Amikor megeszünk egy marhahússzeletet, az egyenértékű az *Encyclopaedia Britannica* 100 milliárdnál több példányának összeállításával.

2. FEJEZET

A jó terv

Maga a természetes szelekció a vak órásmester; azért nevezem vaknak, mert nem lát előre, nem törődik a következményekkel, semmiféle célt nem tűz ki maga elé. Ugyanakkor a természetes kiválasztás élő eredményei valósággal lenyűgöznek bennünket, amikor azt a látszatot keltik, hogy kiváló óraműves készítette őket; lenyűgöznek bennünket a tervezés és az előrelátás illúziójával. Könyvem célja, hogy az olvasó megelégedésére feloldja ezt a paradoxont; ennek a fejezetnek pedig az a célja, hogy a tervezés illúziójának erejével még jobban lenyűgözze az olvasót. Konkrét példa alapján arra a következtetésre jutunk e fejezet végén, hogy a terv szépsége és komplexitása tekintetében Paley leírása meg sem közelíti a valóságot.

Akkor mondjuk, hogy valamely élő test vagy szerv „jól megtervezett”, ha olyan tulajdonságokkal rendelkezik, amelyekről feltehető, hogy okos és a szakmájában jártas mérnök építette be azokat valamely értelmes cél (például repülés, úszás, látás, evés, szaporodás) megvalósítása vagy – általánosabban kifejezve – az organizmus génjeinek fennmaradását és szaporodását előmozdító cél érdekében. Nem szükséges azt feltételezni, hogy az illető test vagy szerv a lehető legjobb felépítésű, amelyet valamely mérnök egyáltalán elképzelhet. Gyakran előfordul, hogy az egyik mérnök optimális teljesítményét felülmúlja egy másik mérnöké, különösen akkor, ha ez utóbbi a technika történetének későbbi szakaszában él. Bármely mérnök képes azonban felismerni, hogy az adott tárgyat valamely cél megvalósítására készítették (ha mégoly rosszul is), s rendszerint rá is jön, mi ez a cél. Ehhez elegendő, ha megvizsgálja az illető tárgy szerkezetét. Az első fejezetben főként filozófiai kérdéseken rágódtunk, most pedig olyan konkrét példát ismertetek részletesen, amely meggyőződéseim szerint bármely mérnököt képes lenyűgözni: a denevérek ultrahangos radarjáról lesz szó. A téma kifejtésekor az élő gépezet előtt álló probléma felvetéséből indulok ki, majd sorra veszem azokat a lehetséges megoldásokat, amelyek egy értelmes mérnöknek eszébe juthatnak. Végül ismertetem azt a megoldást, amelyet a természet a valóságban kialakított. Ez természetesen csupán egyetlen példa: ha a mérnököt lenyűgözik a denevérek, akkor joggal elmondhatjuk ugyanezt az élő „konstrukciók” számtalan példájáról.

A denevérek problémája a következő: hogyan mozoghatnak a sötétben. Ezek az állatok éjjel vadásznak, és nem használhatnak fényt, hogy annak

segítségével találják meg zsákmányukat és kerüljék el az akadályokat. Azt mondhatnánk, hogy ha ez probléma, akkor ezt a denevérek saját maguknak okozzák, ugyanis könnyen elkerülhetnék ezt, ha megváltoztatnák szokásaikat és nappal vadásznának. A nappali műszak azonban máris zsúfolt: például madarak foglalják el a terepet. Ha elfogadjuk, hogy éjszaka kell megszerezni a táplálékot, s hogy a nappali kenyérkereset a zsúfoltság miatt lehetetlen, akkor megállapíthatjuk, hogy a természetes szelekció azoknak a denevéreknek kedvezett, amelyek sikeresen vadásznak éjszaka. Mellesleg valószínű, hogy ez az éjszakai műszak valamennyi emlőszállat őseitől visszanyúlik. Amikor a nappali műszakot a dinoszauruszok uralták, emlős őseink alighanem csupán azért tudtak egyáltalán életben maradni, mert rájöttek, hogyan szerezhetik meg ételmüket éjszaka. Csupán mintegy 65 millió évvel ezelőtt – amikor a dinoszauruszok rejtélyes módon kipusztultak Földünkéről – tudtak őseink jelentős számban nappal is előbújni rejtekhelyeikről.

Visszatérve a denevérekhez, ezek az állatok műszaki problémát is kénytelenek megoldani: hogyan mozoghatnak és hogyan találhatják meg zsákmányukat fény hiányában. Manapság nem a denevérek az egyedüli élőlények, amelyek kénytelenek szembenézni ezzel a nehézséggel. Nyilvánvaló, hogy zsákmányállataik, az éjszaka repülő rovarok is kénytelenek valahogyan megoldani ezt a problémát. A mélytengeri halak és a bálnák a napszaktól függetlenül félhomályban vagy teljes sötétben élnek, mivel a nap sugarai nem hatolnak a tenger mélyére. A rendkívül iszapos vízben élő halak és delfinek a fény ellenére azért nem látnak, mert a felkavart iszap a fényt eltakarja és szétszórja. Ma is rengeteg olyan állat él a Földön, amelynek körülményei megnehezítik vagy lehetetlenné teszik a látást.

Milyen megoldást találhat a mérnök arra a kérdésre, hogyan lehetne a sötétben mozogni? Valószínűleg az volna az első ötlete, hogy fényt kell gyűjteni: lámpást vagy fényszórót kell készíteni. A szentjánosbogarak és egyes halak képesek (rendszerint baktériumok segítségével) előállítani saját fényüket, a jelek szerint azonban ez az eljárás igen energiaigényes. A szentjánosbogarak fényükkel a párjukat vonzzák magukhoz. Ehhez nem kell túl sok energia: a sötét éjszakában a nőstény bizonyos távolságról jól észreveszi a hím parányi, izzó fénypontját, mivel közvetlenül a fényforrást látja. Ennél jóval több energiára van szükség, ha utunkat akarjuk fénnel megvilágítani: ilyenkor szemünknek a környezetből visszaverődő igen csekély fény mennyiséget kell észlelnie. Ha tehát a fényforrást utunk megvilágítására kívánjuk használni, akkor sokkal erősebb kell hogy legyen, mint amikor csupán másoknak akarunk fényjeleket küldeni. Bárhogyan is ezzel az energiával, a jelek szerint néhány rendkívüli mélytengeri haltól eltekintve az ember az egyetlen állat, amely útját mesterséges fénnel világítja meg.

Milyen más megoldásra gondolhat még a mérnök? Nos, vak embereknél némelykor találkozunk azzal a titokzatos hatodik érzékkel, amelynek segítségével észlelik az útjukban levő akadályokat. Ennek az érzéknek az „arclátás” nevet adták, mivel a vakok úgy érzik, mintha valaki megérintené az

arcukat. Az egyik beszámolóból megtudhatjuk, hogy egy teljesen vak fiú meglehetősen gyorsan tudott háromkerekű biciklivel kerékpározni a ház körül ezzel az „arclátással”. A kísérletek azonban kimutatták, hogy ennek semmi köze sem valamely érintéshez, sem az archoz, jöllehet az érzés átvihető az arcra (a fantom – amputált – végtagban jelentkező fájdalomhoz hasonlóan). Az „arclátás” érzése valójában a fülben keletkezik. A vakok, anélkül hogy ennek tudatában volnának, valójában saját lépéseik és más hangok visszhangját érzékelik az akadályok helyének megállapításakor. A mérnökök ezen elv alapján már akkor készítettek műszereket, amikor erről még nem is tudtak; így mérték például a hajó alatt a tenger mélységét. Miután ezt a módszert feltalálták, csupán idő kérdése volt, hogy a hadmérnökök tengeralattjárók észlelésére alkalmazzák. A második világháború folyamán mindkét tábor kiterjedten használta ezeket az eszközöket, különböző kódnevek alatt, mint például az angol Asdic és az amerikai Sonar; hasonló a helyzet az amerikai Radar és az angol RDF technikával, amely azonban nem hangjelek, hanem rádióhullámok visszaverődésére épült.

A Sonar és a Radar úttörői akkor még nem tudták, ami ma már az egész világ előtt ismeretes, hogy a denevérek (vagy inkább a rájuk ható természetes szelekció) már több tízmillió évvel korábban tökéletesítette ezt a rendszert, s „radarjuk” olyan magas fokú észlelést és tájékozódást tesz lehetővé, hogy bármely mérnöknek táva marad a szája a csodálkozástól. Műszaki értelemben nem helyes a denevérek „radarjáról” beszélni, ugyanis ezek az állatok nem a rádióhullámok segítségével tájékozódnak. Az ő szerkezetük hangradar vagy szonár. A két rendszer matematikai elvi alapjai azonban nagyon hasonlóak, s amit ma a tudomány e téren a denevérekről tud, az jórészt annak köszönhető, hogy a radarelméletet alkalmazták ezekre az állatokra. Donald Griffin amerikai zoológus (jórészt az ő érdeme a denevérek szonárjának a felfedezése) az *echolokáció* kifejezést használta, amely a szonárra és a radarra egyaránt vonatkozik, akár állatok, akár ember alkotta készülékek használják azt. A gyakorlatban úgy tűnik, hogy ez a szó inkább az állatok szonárját jelenti.

Félrevezető volna, ha a denevérekről mint homogén állatcsoportról beszélénk. Olyan ez, mintha egy kalap alá vennénk a kutyákat, az oroszlánokat, a menyéteket, a medvéket, a hiénákat, a pandamackókat és a vidrákat pusztán azért, mert az említett állatok valamennyien húsevők. A különböző csoportokhoz tartozó denevérek egymástól alapvetően eltérő módon használják szonárjukat; úgy tűnik, egymástól függetlenül külön-külön „találták fel” ezt a készüléket ahhoz hasonlóan, ahogyan az angolok, a németek és az amerikaiak egymástól függetlenül fejlesztették ki a radart. Nem minden denevér használja az echolokációt: az Óvilágban élő trópusi gyümölcssevő denevérek jól látnak, s többségük csupán a szemére támaszkodva tájékozódik a világban. A gyümölcssevő denevérek néhány faja azonban (pl. a *Rousettus*) teljes sötétségben is tud tájékozódni, pedig ott a legtökéletesebb szem is használhatatlan. Ezek az állatok a szonárt használják, ez azonban kezdet-

leges ahhoz képest, amelyet a mérsékelt égövben élő, általunk ismert, kisebb denevérek használnak. Repülés közben a *Rousettus* hangosan és ütemesen csettintget a nyelvével, s úgy tájékozódik, hogy megméri az egyes csettintések és ezek visszhangja között eltelt időtartamot. A *Rousettus* csettintéseinek jelentős részét mi is tisztán halljuk. (Ez egyben azt is jelenti, hogy ezek az állatok nem ultrahangot, hanem közönséges hangot használhatnak. Az ultrahang is hang, frekvenciája azonban olyan magas, hogy azt az emberi fül nem érzékeli.)

Elméletileg minél magasabb a hang, annál alkalmasabb arra, hogy pontos szonár legyen. Ennek az az oka, hogy a mély hangoknak nagy a hullámhosszuk, s ezért velük nem lehet különbséget tenni az egymáshoz közel elhelyezkedő tárgyak között. Ezek szerint, azonos feltételek mellett, az az irányított rakéta, amely vezérlőrendszerében a visszavert hangokat használja, ideális körülmények között igen magas hangokat bocsát ki. A legtöbb denevérnél csakugyan így van: ezek az állatok rendkívül magas hangokat használnak, amelyeket az emberi fül nem érzékeli; ezek az ultrahangok. A *Rousettustól* eltérően, amely igen jól lát, és amely jó látása kiegészítésére csekély mértékben alkalmazza az echolokációt modulálatlan, viszonylag mély hangokkal, a jelek szerint a kisebb termetű denevéreknek igen fejlett a visszhangkészülékük. Parányi szemük többnyire nem sokat láthat. Ezek az állatok a visszhangok világában élnek, s agyuk, valószínűleg a visszhangok segítségével a „látáshoz” hasonló funkciót lát el, jóllehet számunkra a lehetetlenséggel határos vizuálisan elképzelni, milyenek is lehetnek ezek a képek. Nem csupán arról van szó, hogy az általuk kibocsátott zajok túlságosan nagy frekvenciájúak az emberi fül számára (mint például egyfajta ultrahangos kutyahívó fütty). Sokszor ezek a hangok jóval meghaladják a legmagasabb hangokat is, amelyeket bárki hallott vagy el tud képzelni. Egyébként szerencsénk, hogy nem halljuk ezeket a hangokat, mert ezek iszonyúan erőteljesek, s szinte megsüketülnénk, ha hallhatnánk, és egész éjjel nem tudnánk tőlük aludni.

Ezek a denevérek parányi kémrepülőgépekhez hasonlítanak, amelyek zsúfolva vannak bonyolult műszerekkel. Agyuk miniatűr elektronikus szerkezet, amelynek bonyolult programozása lehetővé teszi a visszhangok világának „valós idejű” dekódolását. Arcuk gyakran a gótikus tornyok vízköpő szörnyeire emlékeztet, ha nem vesszük tudomásul valódi mivoltukat: tökéletesen célszerű műszerek ezek, amelyek az ultrahangokat a kívánt irányban bocsátják ki.

Jóllehet közvetlenül nem halljuk a denevérek ultrahangimpulzusait, egyfajta fordítógép vagy „denevérdetektor” segítségével némi fogalmat alkothatunk róluk. Ez a készülék különleges ultrahangmikrofon segítségével fogja fel az impulzusokat, s azokat hallható ketyegéssé vagy folyamatos zümögő hanggá alakítja át, amelyet fejhallgatóban hallhatunk. Ha a denevérdetektort kivisszük egy erdei tisztásra, ahol a denevérek táplálkoznak, halljuk majd az egyes impulzusok kibocsátását, de nem tudjuk, valójá-

ban hogyan hangzanak ezek az impulzusok. Ha a *Myotis* fajhoz tartozó, gyakran előforduló, kicsiny, barna denevérekkel találkozunk, akkor másodpercenként kb. 10 kattánást hallunk, amely folyamatos zümmögésnek tűnik, miközben a denevér szokásos élelemszerző körútját végzi. Ez kb. megfelel egy közönséges Bren típusú géppuska kattogásának.

Valószínűleg arról van szó, hogy a denevér másodpercenként tízszer felfrissíti azt a képet, amelyet az általa becserkészett világról alkot. Mi emberek úgy érzékeljük ezt, hogy a szemünk által szállított kép folyamatosan megújul mindaddig, amíg szemünket nyitva tartjuk. Ha éjszaka sztroboszkópot működtetünk, akkor képet alkothatunk arról, milyen lehet ez a szakaszosan felfrissített környezeti kép. Egyes diszkókban használják az ilyen készüléket; hatása némelykor egészen megdöbbentő: a táncoló alak mozgása egymást követő állóképek sorozatának tűnik. Természetesen minél nagyobb sebességre állítjuk be a sztroboszkópot, annál közelebb kerül a vele kialakított kép a rendes, folytonos látáshoz. Egyes esetekben ez a sztroboszkópos látás – amely másodpercenként kb. 10 „mintát” vesz a környezetből, a denevér sebességéhez hasonlóan – majdnem megfelel a rendes, folytonos látásnak, jóllehet segítségével nem tudnánk egy labdát vagy egy repülő rovarot elkapni.

A másodpercenkénti tíz kattánás a denevér mintavételi sebessége, amelyet rendes vadászó útja során alkalmaz. Mikor a kis barna denevér észreveszi a rovart és „elfogó pályára” tér, a kattogás sebessége felgyorsul, meghaladhatja a gépfegyverropogás sebeségét is, s amikor a denevér lecsap a mozgó célpontra, a hangkibocsátás csúcsértéke másodpercenként 200 impulzus. Ha ezt akarjuk utánózni, akkor a sztroboszkópot a hálózati áram frekvenciájának négyszeresére kell beállítanunk, s a villogást a fluoreszcens fényben már nem érzékeljük. Természetesen az ilyen frekvenciával „pulzáló” látótérben nem ütközik nehézségbe a látás, még teniszezhetünk vagy pingpongozhatunk is. Ha megpróbáljuk elképzelni, hogy a denevér agya a miáltalunk látott képekhez hasonlóan építi fel a külvilág képét, akkor már az impulzusok sebessége is jelzi, hogy ez a visszhangkép legalább olyan részletes és folytonos lehet, mint az általunk látott kép. Vannak természetesen egyéb okai is annak, ami miatt ez a kép kevésbé részletes, mint az ember által látott kép.

Ha a denevérek másodpercenként 200 impulzusra képesek növelni a mintavételi sebességet, akkor miért nem alkalmazzák állandóan? Nyilvánvaló ugyanis, hogy „sztroboszkópjuk” valamilyen sebességszabályozó gombbal rendelkezik; ha így van, akkor miért nem állítják maximális sebességre, hogy a világot mindig a legélesebben lássák, s így jobban megbirkózzanak a váratlan helyzetekkel? Ennek egyik oka az, hogy a gyors impulzusok csupán közeli célpontoknál alkalmazhatók. Ha az egyik impulzus túlságosan hamar követi az előzőt, akkor összekeveredik az előző impulzus visszhangjával, amely távoli tárgyról verődik vissza. Ettől eltekintve azonban alapos gazdasági oka is lehet annak, hogy a denevér nem használja

folyton a legnagyobb impulzus kibocsátási sebességet. Drága mulatság hangos ultrahangimpulzusok kibocsátása: energiaigényes, igénybe veszi a hangképző szerveket és a fület, s talán a denevér „számítógépét” is túlságosan lefoglalja. Ha az agy másodpercenként 200 különálló visszhangot dolgoz fel, esetleg nem marad fölös energiája arra, hogy másra is gondoljon. Alighanem sokba kerül a másodpercenként kb. 10 impulzust jelentő üresjárat is, de még mindig kifizetődőbb, mint a másodpercenkénti 200 impulzusos csúcssebesség. Ha a denevér megnövelné üresjárat sebességét, ez többletenergia stb. kerülne, s ezt nem indokolná a környezet fokozott szondázási élessége. Amikor a közvetlen környezetben maga a denevér az egyetlen mozgó tárgy, akkor az egymást követő tizedmásodpercek során rekonstruált külvilág alig változik, s így nincs szükség nagyobb mintavételi sebességre. Ha ebben a környezetben más mozgó tárgy is van (főleg olyan rovar, amely kétségbeesett cikcakkos repüléssel igyekszik lerázni üldözőjét), a megnövelt mintavételi sebesség olyan előnyökkel jár, amelyek bőven kárpótolják a denevért a ráfordításért. Az itt kifejtett gazdaságossági szempontok természetesen feltételes jellegűek, de minden bizonnyal valami ehhez hasonló játszódik le az állatban.

A mérnök, aki jó hatásfokú szonárt vagy radart akar építeni, mindjárt az elején azzal a problémával találkozik, hogy kénytelen rendkívül hangos impulzusokat előállítani. Erre azért van szükség, mert a hang kibocsátásakor annak hullámfrontja egyre táguló gömb felületén halad. A hang intenzitása a gömb teljes felületén oszlik el, s így bizonyos értelemben felhígul. A gömb felszíne a sugár négyzetével arányos, s így a gömb adott pontján levő hang erőssége nem a távolsággal (a sugárral), hanem annak négyzetével egyenes arányban csökken, miközben a hullámfront előre halad és a gömb tágul. Ez azt jelenti, hogy a hang igen gyorsan halkul, miközben a hangforrástól (jelen esetben a denevértől) távolodik.

Amikor ez a felhígult hang valamely tárgyba (pl. lepkébe) ütközik, arról visszaverődik. Most ez a visszavert hang távolodik a rovarától egyre táguló gömb alakú hullámfront alakjában. Az eredeti hangnál említett okoknál fogva erőssége a rovarától való távolság négyzetével csökken. Mire a visszhang eléri a denevért, annak erőssége már nem a denevér és a rovar közötti távolsággal, sőt nem is annak négyzetével, hanem a négyzet négyzetével (a távolság negyedik hatványával) egyenes arányban csökken. Ez azt jelenti, hogy a visszavert hangjel nagyon gyenge. Ezt a problémát részben úgy oldhatná meg a denevér, hogy egyfajta irányított hangsugárzó segítségével a kívánt irányba tereli a hangot; ehhez azonban már tudnia kell, hol van a célpont. Mindenesetre, ha a távoli tárgyról elfogadható visszhangjelet kíván kapni, a denevér rendkívül erős hangjelet kénytelen kibocsátani, s a visszhangot felfogó műszernek, a fülnek, igen érzékenynek kell lennie a halk hangokra (a visszhangokra) is. Amint tudjuk, a denevérek kiáltása gyakran csakugyan igen hangos, fülük pedig nagyon érzékeny.

Ezen a ponton ütközik problémába a mérnök, aki a denevérhez hasonló

műszert akar tervezni. Ha a mikrofon vagy a fül csakugyan ilyen érzékeny, akkor könnyen kárt tehet benne a saját maga által kibocsátott, rendkívül erős hangimpulzus. Itt nem használ, ha megpróbálják lehalkítani a hangjeleket: akkor a túlságosan halk visszhangot nem hallja. S az sem használ, ha az utóbbi problémát úgy próbálja megoldani, hogy *fokozza* a mikrofon (a fül) érzékenységet, mert ezáltal megint fokozódik ennek a szervnek a sebezhetősége a kibocsátott (jóllehet immár halkabb) hangokkal szemben! Olyan dilemma ez, amely a kimenő hangjelek és a visszavert hangok intenzitása közötti szakadéokban rejlik, s ezt a szakadékot a fizika törvényei mélyítették.

Milyen más megoldáson törheti fejét a mérnök? Amikor a II. világháború folyamán a radar tervezői hasonló problémával találkoztak, az általuk adó-vevő üzeműnek nevezett radar jelentette a megoldást. A radarjeleket szükségképpen igen erőteljes impulzusok alakjában sugározták ki, amelyek kárt okozhattak volna a halk visszavert jelek vételére beállított, rendkívül érzékeny vevőkben. Az adó-vevő áramkör a kimenő impulzus kisugárzása előtt ideiglenesen lekapcsolta a vevőantennát, majd kellő időben ismét visszakapcsolta, hogy az felfoghassa a visszavert impulzust.

A denevérek már régen, alighanem sok millió évvel azelőtt kifejlesztették ezt az adó-vevő kapcsolást, amint őseink lejöttek a fákról. Ennek működése a következő. Az emberi fülhöz hasonlóan a denevérben is három parányi csontocska (latin nevük alapján a kalapács, az üllő és a kengyel) révén jut el a hang a dobhártyától a mikrofonszerű, hangérzékeny sejtekhez. E három hallócsontocska elhelyezkedése és felfüggesztése egyébként pontosan olyan, mintha hifi szakember mérnök tervezte volna a szükséges impedanciaillesztés megvalósítására. Ezt azonban most ne bolygassuk. Bennünket itt az érdekel, hogy egyes denevérekben jól fejlett izmok csatlakoznak a kengyelhez és a kalapácshoz. Amikor ezek az izmok összehúzódnak, az említett csontok a hangot gyengébben továbbítják: olyan ez, mint amikor kezünkkel letakarjuk a mikrofont. A denevér ezekkel az izmokkal ideiglenesen „kikapcsolja” a fülét. Az izmok közvetlenül az előtt húzódnak össze, hogy a denevér kibocsátja az impulzust, s így kikapcsolja a fülét, hogy ne tegyen kárt benne a hangos impulzus. Ezután az izmok elernyednek, s így a fül ismét teljes érzékenységgel fogadja a megfelelő pillanatban a visszavert hangjelet. Ez a ciklikus adó-vevő kapcsolórendszer csupán akkor működik, ha az időzítés a másodperc töredékének megfelelő pontossággal történik. A *Tadarida* nevű denevér másodpercenként ötvenszer tudja kapcsolóizmait összehúzni és elernyeszteni, tökéletes szinkronban a gépfegyverlövődék sebességével kibocsátott ultrahangimpulzusokkal. Félelmetes időzítési teljesítmény ez, ahhoz az ötletes megoldáshoz hasonlóan, amelyet egyes vadászgépeknél alkalmaztak az I. világháborúban. Ezeknek a gépfegyvere átlőtt a forgó légcsavaron; gondosan úgy időzítették, hogy a lövedékek a forgó légcavar lapátjai között repültek ki, soha nem tettek kárt azokban.

Képzletbeli mérnökünk másik problémája a következő lehet. Ha a szonár úgy méri a célpont távolságát, hogy megméri a hangkibocsátás és a

visszavert jel között eltelt „csend” időtartamát (úgy tűnik, a *Rousettus* denevér csakugyan ezt a módszert alkalmazza), akkor igen rövid, staccato impulzusokat kénytelen kibocsátani. Az elnyújtott hangjel még nem érte véget, amikor a visszavert jel már megérkezik, s így zavarná annak észlelését, még akkor is, ha az adó-vevőt átkapcsoló izmok részben le is halkítanák. Úgy tűnik, ideális esetben a denevér impulzusainak igen rövideknek kell lenniük. Ezzel szemben minél rövidebb a hang, annál nehezebb úgy megnövelni energiáját, hogy megfelelő visszhangot kapjunk. Úgy tűnik, ismét a fizika törvényei által diktált előnytelen kompromisszumra kényszerülünk. Ötletes mérnökünknek két megoldás juthat eszébe, s ez csakugyan meg is történt a radar esetében, amikor ugyanezzel a problémával találkozta. A két megoldás közül attól függően választjuk ki az egyiket, hogy mit akarunk megmérni: a távolságot (a tárgy és a műszer közötti úthosszt) vagy a sebességet (a tárgynak a műszerhez viszonyított mozgási sebességét). Az első megoldást a radarmérnökök ciripelő vagy csipogó radarnak nevezik.

A radarjeleket úgy képzelhetjük el, mint impulzusok sorozatát, amelyben minden egyes impulzus úgynevezett vivőfrekvenciával rendelkezik. Ez megfelel valamely hang- vagy ultrahangimpulzus magasságának. Amint korábban szó volt róla, a denevérek kiáltása másodpercenként 10–100 impulzusismétléssel működik, s ezen impulzusok mindegyikének vivőfrekvenciája a 10 000–100 000 Hz közötti tartományban van. Más szóval egy-egy impulzus igen magas hangú kiáltás. Ehhez hasonlóan minden egyes radarimpulzus nagy vivőfrekvenciájú rádióhullámokból álló „kiáltás”. A ciripelő vagy csipogó radar különlegessége az, hogy az egyes kiáltások alatt a vivőfrekvencia kb. 1 oktávval nő vagy csökken. Ha megpróbáljuk ennek hangbeli megfelelőjét elképzelni, akkor minden egyes radarjelet ingadozó magasságú farkasfüttyként foghatunk fel. A rögzített hangmagasságú impulzussal szemben a ciripelő radar előnye a következő: nincs jelentősége annak, hogy az eredeti ciripelő jel még nem ért véget, amikor már megérkezik a visszhang. A kettő nem zavarja egymást, mivel az adott pillanatban észlelt visszhangjel a csipogás egy korábbi részének visszaverődése, s így más lesz a frekvenciája (magassága).

Az emberi radarkészítők jól felhasználták ezt a szellemes módszert. Van-e bizonyíték arra, hogy a denevérek is felfedezték az adó-vevő átkapcsolórendszerhez hasonlóan? Az igazság az, hogy számos denevérfaj csakugyan ingadozó magasságú kiáltást hallat, s az ingadozás rendszerint kb. 1 oktávot fog át. Ezeket a farkasfüttykiáltásokat frekvenciamodulálnak (FM) nevezzük. Úgy tűnik, pontosan olyanok, hogy kiaknázhathatják a csipogóradartechnikát, de az eddigi adatok arra utalnak, hogy a denevérek ezt a módszert nem arra használják, hogy megkülönböztessék a visszavert hangjelet az eredetitől; ennél kifinomultabb feladatról van szó: a denevérek a különböző visszhangokat is megkülönböztetik egymástól. Ezek az állatok a közeli tárgyakról, a távoli tárgyakról és a közbülső helyeken levő tárgyakról visszaverődő hangjelek özönében élnek, s így kénytelenek ezeket egymástól

megkülönböztetni. A lefelé ingadozó farkasfüttykiáltással ezt a kiszűrést jól megoldja a hangmagasság. Ha a távoli tárgyról visszavert jel végül a denevér fülébe jut, ez régiebb annál a visszhangnál, amelyet az állat ugyanekkor észlel valamely közeli tárgyról, s így frekvenciája (hangmagassága) nagyobb. Amikor a denevért több tárgyról visszaverődő jelek zűrzavarában kell eligazodni, ezt az egyszerű szabályt alkalmazza: a nagyobb hangmagasság távolabb levő tárgyat jelent.

A másik jó ötlet, amely mérnökünknek eszébe juthat (különösen, ha mozgó célpont sebességét akarja megmérni) a fizikusok által Doppler-eltolódásnak nevezett jelenség kiaknázása. Ezt mentőautó hatásnak is nevezhetjük, mivel legismertebb megnyilvánulása az, amikor a megfigyelő mellett elrobogó mentőautó szirénája hirtelen mélyebb hangúnak hallatszik. A Doppler-eltolódás mindig jelentkezik, ha a hangforrás (illetve fény- vagy egyéb hullámforrás) és a hang felfogója viszonylagos mozgásban van. A legkönnyebben úgy képzelhetjük ezt el, hogy a hangforrás egy helyben áll, s a hallgató mozog. Tegyük fel, hogy a gyár szirénája folyamatosan, azonos hangmagasságon bűg. Ez a hang hullámok sorozataként terjed, ezek azonban nem láthatók, mivel a légnyomás ingadozásai. Ha láthatnánk ezeket, akkor azokra a koncentrikus körökre emlékeztetnének, amelyeket az álló vízű tóba dobott kavicsok keltenek. Képzeljük el, hogy gyors egymásutánban dobjuk a kavicsokat a tó közepébe, s így a hullámok folyamatosan terjednek kifelé. Ha a tóban valahol lehorgonyzunk egy kis játéksónakot, ez a játékszer ütemesen fel-le táncol, miközben a hullámok elhaladnak alatta. Ennek a táncnak a frekvenciája megfelel valamely hang magasságának. Most tételezzük fel, hogy a csónak nincs rögzítve, hanem a távon azon középpont felé halad, ahol a hullámkörök keletkeznek. A táncolás most is jelentkezik, amikor a csónak nekiütődik az egymást követő hullámoknak, ennek frekvenciája azonban nagyobb, mivel a hullámok forrása felé halad. Ugyanakkor viszont, miután elhaladt a hullámforrás mellett és az ellenkező irányban távolodik attól, természetsszerűleg csökken a fel-le táncolás frekvenciája.

Ugyanezen oknál fogva, ha (lehetőleg csendes hangú) motorkerékpárral elrobogunk egy gyár bűgő szirénája mellett, ennek hangmagassága növekszik, amikor közeledünk hozzá. Ilyenkor fülünk gyorsabban falja a hanghullámokat, mint álló helyzetben. Ugyanígy beláthatjuk: amikor motorkerékpárunkkal elhaladtunk a gyár mellett és távolodunk attól, a hang magassága csökken. Ha megállunk, a sziréna hangját a valóságnak megfelelően halljuk: kb. középtájt a két Doppler-eltolódású hangmagasság között. Ebből következően, ha pontosan ismerjük a sziréna hangjának magasságát, elméletileg kiszámíthatjuk, milyen gyorsan közeledünk hozzá, illetve távolodunk tőle. Ehhez elegendő, ha megfigyeljük a látszólagos hangmagasságot és összehasonlítjuk azt az ismert valódi értékkel.

Ugyanez az elv érvényesül, amikor a hangforrás mozog, s a hallgató áll. Ezért tapasztaljuk ezt mentőautóknál is. Kissé hihetetlenül hangzik, de

állítólag maga Christian Doppler úgy mutatta be ezt a hatást, hogy egy bérelt fűvószenekart nyitott vasúti kocsira ültetett, s a zenekar játéka közben a szerelvény elrobogott az ámuló hallgatóság előtt. A lényeg a relatív mozgás; ami a Doppler-effektust illeti, teljesen mindegy, hogy a kísérletben a hangforrás halad el fülünk mellett vagy megfordítva. Ha két, egyenként 150 km-es sebességgel haladó gyorsvonat egymással szemben elrobog, a vonatban ülő utasok különösen erőteljes módon győződhetnek meg a Doppler-eltolódás hatásáról, mivel a két vonat viszonylagos sebessége 300 km/óra.

A rendőrség is kihasználja a Doppler-effektust, hogy rajtacsípje a gyorshajtókat. Itt mozdulatlan berendezés radarjeleket bocsát ki az útra, amelyek visszaverődnek a közeledő autókról, s ezeket a vevőkészülék regisztrálja. Minél gyorsabban jön az autó, annál nagyobb a frekvencia Doppler-eltolódása. Ha összehasonlítjuk a kibocsátott frekvenciát a visszavert jel frekvenciájával, akkor kiszámíthatjuk bármely autó sebességét; ezt teszi a rendőrség, illetve az általa használt automata berendezés. Ha ezt a technikát a rendőrség felhasználhatja országúti száguldozók sebességének mérésére, vajon feltehető-e, hogy a denevérek is használják a zsákmányrovar sebességének mérésére?

A válasz: igen. A patkósrú denevéreknek nevezett kis állatok már régen megtanulták, hogy a staccato kettyegés vagy a csökkenő frekvenciájú farkasfütty helyett hosszú, rögzített magasságú füttyöt bocsássanak ki. A „hosszú” jelző itt természetesen a denevérek mércéjével mérendő. Ezek a füttyök még mindig rövidebbek egytized másodpercnél, s amint majd meglátjuk, gyakran farkasfütty is tapad egy-egy rendes fütty végéhez. Először is képzeljük el, hogy a patkósrú denevér – miközben gyorsan valamely álló tárgy (pl. fa) felé repül – folyamatos zümmögő hangot ad az ultrahangtartományban. A hullámfrontok egyre gyorsuló ütemben érik el a fát, mivel a denevér mozgása ilyen irányú. Ha a fában mikrofont rejtenénk el, az „hallaná”, hogy a hang a denevér mozgása következtében Doppler-eltolódást szenved, s magassága növekszik. A fában ugyan nincs mikrofon, de az onnan visszavert jelen is érvényesül ez a Doppler-eltolódás, s frekvenciája megnövekszik. Ekkor, miközben a visszavert jelek hullámfrontja folyamatosan érkezik a fától a közeledő denevérhez, a denevér még mindig gyorsan repül velük ellenkező irányban, s így a denevér oly módon észleli a visszhang magasságát, mintha az további Doppler-eltolódást szenvedne. A denevér mozgása mintegy kettős Doppler-eltolódáshoz vezet, amelynek nagysága pontosan jelzi a denevér viszonylagos sebességét, miközben a fához közeledik. Elméletben tehát a denevér (vagy inkább az agyában levő hordozható „számítógép”) a kiáltás magasságának a visszavert jel magasságával történő összehasonlítása révén kiszámíthatja, milyen gyorsan repül a fa felé. Ebből még nem tudja meg a fa tényleges távolságát, mégis igen értékes információhoz jut.

Tovább bonyolítaná a Doppler-hatás eredményét, ha a visszaverő tárgy nem álló helyzetű fa, hanem mozgó rovar volna, a denevér azonban akkor is ki tudja számítani az önmaga és célpontja viszonylagos mozgásának

sebességét; ez egyértelműen ahhoz a művelethez hasonlít, amelyet az irányított ballisztikus lövedék végez. Egyes denevérek olyan fogást alkalmaznak, amely még az előző esetnél is érdekesebb. Ahelyett, hogy állandó magasságú füttyöt bocsátának ki és megmérnék a visszavert jelek hangmagasságát, gondosan beállítják a kibocsátott füttyjelek magasságát oly módon, hogy a visszavert jel Doppler-eltolódás utáni hangmagassága is állandó legyen. Miközben a mozgó rovar felé repülnek, kiáltásuk hangmagassága szüntelenül változik, s folyamatosan keresik azt a hangmagasságot, amelynek segítségével állandó értéken tarthatják a visszavert jelek hangmagasságát. E zseniális trükk eredményeként a visszhang magassága állandóan a denevér fülének legérzékenyebb tartományába esik: ez azért fontos, mert a visszavert jelek nagyon gyengék. A Doppler-effektus kiszámításához szükséges információt azután úgy szerzik meg, hogy folyamatosan figyelik azt a hangmagasságot, amelyet ki kell bocsátaniuk ahhoz, hogy a visszavert jelek hangmagassága állandó maradjon. Nem tudom, az ember által alkotott készülékek (a szonár vagy a radar) alkalmazzák-e ezt a finom trükköt, ám azon az alapon, hogy a jelek szerint e téren a legszellemesebb ötleteket a denevérek dolgozták ki elsőként, kész volnék fogadni, hogy a válasz igen.

Ezek után jogos feltételezés, hogy az említett két eltérő módszer, a Doppler-eltolódáson alapuló és a csipogó radar módszer, más-más célokra alkalmazható. Egyes denevércsoportok az egyiket, mások a másikat fejlesztették tovább. Úgy tűnik, néhány csoport mindkét módszer előnyeit élvezi: ezek tagjai a hosszú, állandó frekvenciájú „fütty” végére (néhánykor az elejére) frekvenciamodulált farkasfüttyöt illesztenek. A patkósrú denevérek másikkal érdekessége, hogy mozgatják külső fülcimpájukat. A többi denevértől eltérően ezek az állatok külső fülcimpájukat sűrűn váltakozva előre és hátra feszítik. Elképzelhető, hogy a hangfelfogó felületnek ilyen járulékos gyors mozgása a célponthoz képest a Doppler-eltolódás hasznos modulációját eredményezi, s ez további információt nyújt az állatnak. Amikor a fülcimpa előre, a célpont felé csapódik, megnő az ilyen irányú mozgás látszólagos sebessége, amikor pedig fülét az állat hátracsapja, akkor ennek a fordítottja történik. A denevér agya „ismeri” a fülek előre-, illetve hátracsapásának irányát, s elvben képes elvégezni az információ hasznosításához szükséges számításokat.

A denevérnek alighanem az okozza a legnagyobb nehézséget, hogy kiszűrje a többi denevér zavaró hatását. Emberi kísérletezők meglepődtek, milyen nehéz volt eltéríteni a denevéreket hangos mesterséges ultrahangjelekkel. Utólag azt mondhatjuk, hogy ez várható volt, ugyanis a denevéreknek már réges-régen meg kellett oldani a külső zavarás kiküszöbölését. Sok denevérfaj óriási tömegben él olyan barlangokban, ahol fülsiketítő hangerővel zúg az ultrahang és a visszhang, s mégis zavartalanul röpködnek az állatok, elkerülve egymást és a barlang falát abban a teljes sötétségben. Hogyan követi a denevér saját visszhangját, miért nem zavarják meg őt társai visszhangjelei? Mérnökünk először olyan megoldásra gondolhat, amely valami-

lyen frekvenciakódolást alkalmaz: minden egyes denevérnek megvan a saját frekvenciája, a rádióállomásokhoz hasonlóan. Lehetséges, hogy részben erről van szó, ám ez még nem a teljes igazság.

Ma még nem tudjuk pontosan, miért nem zavarják egymást a denevérek, de érdekes jelenséget vettek észre azok, akik megpróbálták a denevéreket eltéríteni. Kiderült, hogy egyes denevérek igen alaposan becsaphatók, ha mesterséges *késleltetéssel* játsszuk vissza nekik *saját* kiáltásukat, azaz saját jelük hamis visszhangját hallják ilyenkor. A hamis visszhangot késleltető elektronikus berendezés megfelelő beállításával még az is elérhető, hogy a denevér nem létező párkányon próbáljon meg leszállni. Szerintem a denevérek esetében ez megfelel annak, amikor valaki üveglencsén át nézi a világot.

Úgy tűnik, a denevérek egyfajta idegenszűrőt használnak. A saját kiáltásaikról visszaverődő egymást követő jelek olyan képet adnak a világról, amelynek csupán akkor van értelme, ha azt a denevér összehasonlítja a korábbi visszhangjelek alapján felépített világgal. Ha a denevér agya egy másik állat kiáltásának visszhangját érzékeli és megpróbálja azt beépíteni a korábban felépített „világképbe”, ezt nem tudja értelmezni. Úgy tűnik számára, mintha a külvilág különböző tárgyai hirtelen szétszóródtak volna. Miután a való világ tárgyai nem viselkednek ilyen örült módon, a denevér agya nyugodtan kiszűrheti ezt az álviszhangot, mint háttérzajt. Ha azonban az emberi kísérletező a denevér saját kiáltásainak mesterségesen késleltetett vagy felgyorsított visszhangját játssza vissza, ezek a hamis jelek *igenis értelmesek* azon világkép szempontjából, amelyet az állat előzőleg felépített az agyában. Ezeket a hamis visszhangjeleket azért fogadja el az idegenszűrő, mert ezek beleillenek a korábbi jelek keretébe. Hatásukra a denevér úgy „látja”, hogy a külvilág tárgyai csupán kismértékben mozdultak el, s ez megfelel ezzel kapcsolatos várakozásának. Agya arra a feltevésre támaszkodik, hogy az adott visszhangjel által létrehozott „világkép” vagy megegyezik az előző impulzusok által létrehozott képekkel, vagy csak kismértékben módosul (pl. a denevér által üldözött rovar kis utat tett meg közben).

Thomas Nagel, a filozófus, egyik ismert írásának a Milyen lehet denevérnek lenni? címet adta. Nem annyira a denevérekről, mint inkább arról a filozófiai kérdésről van itt szó, milyen lehet azt elképzelni, hogy valami egészen mások vagyunk, mint a valóságban. A filozófusok számára azonban különösen tanulságos a denevér, mivel feltételezzük, hogy az echolokáció olyan élményekkel jár, amelyek rendkívüli módon szokatlanok és idegenek az ember számára. Ha meg akarjuk osztani a denevér tapasztalatait, szinte bizonyosan tévúton járunk, ha bemegyünk a barlangba, ott kiáltozni kezdünk vagy két kanalat összeütögetünk, tudatosan mérjük az időt, mielőtt a visszhangot halljuk, majd ebből kiszámítjuk, hogy milyen messze van tőlünk a barlang fala.

Denevérnek lenni aligha különbözik attól, mint rekonstruálni a színlátást: műszer segítségével mérjük meg a szemünkbe jutó fény hullámhosszát. Ha hosszú hullámok érkeznek oda, akkor piros színt látunk, ha rövidek,

akkor ibolya vagy kék színt érzékelünk. Fizikai véletlen, hogy az általunk pirosnak nevezett fény hullámhossza hosszabb, mint azé, amelyet kéknek mondunk. A különböző hullámhosszú fény a recehártján levő piros-, illetve kékérzékeny sejteket aktivizálja, amikor azonban színeket látunk, itt nyoma sincs a hullámhossz fogalmának. Semmit nem tudunk a különböző hullámhosszokról, ha meg akarjuk érteni, „milyen is az”, amikor kék vagy vörös színt látunk. Ha ez valamilyen okból fontos (rendszerint nem az), akkor tudatosan felidézzük vagy megnézzük valamelyik szakkönyvben (én mindig így teszek). Ehhez hasonlóan, a denevér az általunk visszhangoknak nevezett jelek segítségével érzékeli a rovar helyzetét, de nyilván éppúgy nem gondol visszhangjelek késleltetésére ilyenkor, ahogyan nekünk sem jutnak eszünkbe a hullámhosszak, amikor kék vagy vörös fényt látunk.

Csakugyan, ha kénytelen volnék megpróbálkozni a lehetetlennel, s el akarnám képzelni, milyen lehet denevéreknek lenni, én azt mondanám, a denevér számára az echolokáció körülbelül ugyanaz, mint nekünk a látás. Mi emberek olyan mélységesen vizuálisan érzékelő állatok vagyunk, hogy jószerivel észre sem vesszük, milyen bonyolult dolog a látás. A tárgyak csak „ott vannak”, s mi úgy véljük, hogy egyszerűen „látjuk” azokat. Gyanítom azonban, hogy észlelésünk valójában az agyban megjelenő bonyolult számítógépes modell, amely a külvilágból érkező információ alapján jön létre, de amely fejünkben olyanná alakul, hogy a beérkező információt hasznosíthatja. A fejünkben levő számítógépes modell szinkronizáltsággá kódolja át a fény hullámhosszáinak különbségeit. Ugyanígy kódolja át a tárgyak egyéb jellemzőit, hogy megkönnyítse számunkra azok kezelését. Az ember esetében a látás érzése alapvetően különbözik a hallásától, ez azonban nem magyarázható közvetlenül a fény és a hang különböző fizikai tulajdonságaival. Végső fokon mind a fényt, mind a hangot ugyanolyan jellegű idegimpulzusokká alakítják át a megfelelő érzékszervek. Az idegimpulzus fizikai tulajdonságai alapján nem tudjuk megállapítani, vajon fényre, hangra vagy illatra vonatkozó információt hordoz. A látás érzése azért különbözik annyira a hallás vagy a szaglás érzésétől, mert agyunk más-más módon építi fel a látott, a hallott és a szaglás útján érzékelt világ belső modelljét. Azért különbözik annyira a látás és a hallás érzése, mert *belül használjuk fel* különböző módokon vizuális és hallási információinkat, nem pedig azért, mert a fény és a hang különböző fizikai jelenségek.

A denevér azonban lényegében ugyanarra a célra használja hallási információját, mint mi a látási észlelést: a hang segítségével érzékeli (és folyamatosan felfrissíti) a háromdimenziós térben levő tárgyak helyzetét, amint mi a fény segítségével tesszük. Olyan belső számítógépes modellre van tehát szüksége, amely alkalmas a háromdimenziós térben levő tárgyak változó helyzetének belső ábrázolására. Oda szeretnék kilyukadni, hogy az állat szubjektív élménye a belső számítógépes modell tulajdonsága. Az evolúció folyamán ez a modell úgy jön létre, hogy alkalmas legyen a belső ábrázolásra tekintet nélkül a külvilágból érkező fizikai ingerek milyenségére. A dene-

vér és az ember *ugyanazt* a belső modellt igényli, ha le akarja képezni a háromdimenziós térben levő tárgyak helyzetét. Lényegtelen ebből a szempontból, hogy a denevérek a visszhangjelek, az ember pedig a fény segítségével rakja össze ezt a belső modellt. Mindkét esetben az történik, hogy a külvilágból érkező információ ugyanolyan idegimpulzusokká alakul át, mielőtt az agyat eléri.

Gyanítom tehát, hogy a denevér lényegében ugyanúgy „lát”, mint mi, jóllehet egészen más fizikai hordozóeszközt (fény helyett ultrahangot) használ arra, hogy a külvilágot idegimpulzusokká alakítsa át. Elképzelhető, hogy saját céljaira a denevérek is használják az általunk színeknek nevezett érzékelést, így ábrázolva a külvilágban jelentkező különbségeket, melyeknek semmi köze a hullámhosszak fizikájához, de amelyek a denevér számára ahhoz hasonló szerepet töltenek be, mint az embernél a színek. Lehetséges, hogy a hím denevérek testfelszíne olyan finom redőzetű, hogy a róla visszaverődő jeleket a nőstények tobzódó színgorgiaként élik át, a paradicsommadár pompás nászruhájának hangbeli megfelelőjeként. Ezt nem csupán homályos metaforának szántam: elképzelhető, hogy a hím észlelésekor a nőstény denevér *ugyanazt* a szubjektív érzést éli át, mint én, ha rózsaszín flamingót látok. Vagy legalábbis: a nőstény denevér érzése talán nem különbözik attól a vizuális érzékeléstől, amikor flamingót látok, illetve nem különbözik jobban, mint amikor a flamingó látja társát.

Donald Griffin elmeséli, mi történt 1940-ben a zoológusok konferenciáján, amikor kollégájával, Robert Galambossal beszámoltak a megdöbbszent hallgatóság előtt új felfedezésükről, a denevérek echolokációjáról. Az egyik kiváló tudós felindultságában úgy adott kifejezést hitetlenségének, hogy

„megragadta Galambost a vállánál és alaposan megrázta, miközben egyre azt hajtogatta, hogy ezt nem gondolhatjuk komolyan. Akkoriban a radar és a szonár még szigorúan titkos katonai berendezés volt, s az a gondolat, hogy denevérek az elektronika e legújabb vívmányához akár csak távolról hasonlító fegyvertényre is képesek, nem csupán hihetetlennek, hanem érzelmileg is elfogadhatatlannak tűnt a legtöbb ember számára.”

Az ember hajlik arra, hogy egyetértsen az említett híres kétkedővel: van valami mélységesen emberi abban, hogy képtelen elhinni ezt a hírt. Annak lényege pedig éppen „emberi” jellege, ugyanis éppen azt tudjuk nehezen tudomásul venni, hogy a mi emberi érzékszerveink elmaradnak a denevéreké mögött. Miután ezt a jelenséget mi csupán mesterséges műszerek és papíron elvégzett matematikai számítások segítségével tudjuk felfogni, alig tudjuk elképzelni, hogy mindezt egy apró állat a fejében elvégzi. Mégis, a látás működésének magyarázatához ugyanilyen bonyolult és nehéz matematikai számításokra volna szükség, de senkinek nem okoz nehézséget, hogy tudomásul vegye: a kis állatok is látnak. Kételkedésünk ezen kettős mércéjének az az oka, hogy látunk, de az echolokációra képtelenek vagyunk.

El tudok képzelni olyan világot, ahol tanult, de tökéletesen világtalan denevérszerű lények gyülekezetét valósággal feldúlja egy olyan „embereknek”

nevezett állatokról szóló hír, amelyek képesek használni a „fény” néven említett, újonnan felfedezett, nem hallható sugárzást mozgásukhoz, amely pedig az ottani társadalomban szigorú katonai titoknak számít. Ezek az egyébként jámbor emberi lények majdnem teljesen süketek (nos, bizonyos fokig hallanak, s néhány lassú, mély mormogásra emlékeztető hangot is hallatnak, de ezeket a hangjeleket csupán kezdetleges célokra használják, például az egymás közötti érintkezésre, de úgy tűnik, a leghatalmasabb tárgyak helyét sem tudják meghatározni segítségükkel). Ezzel szemben erősen specializált, „szemeknek” nevezett érzékszervekkel rendelkeznek, amelyek a „fény” sugarait érzékelik. A fénysugarak fő forrása a Nap, s ezek az emberi lények figyelemre méltó módon képesek kiaknázni a különböző tárgyairól visszaverődő, a Nap által kibocsátott fénysugarak bonyolult visszhangjeleit. A „lencsének” nevezett zseniális szerkezetük segítségével – amely a jelek szerint pontosan megfelel bizonyos matematikai képleteknek – az említett hallhatatlan sugarakat úgy gyűjtik össze, hogy a „rekehártyának” nevezett, sejtekből álló lemezen pontosan megjelenik a külvilág tárgyainak rajza (a „kép”). Valamilyen titokzatos módon képesek ezek a retinasejtek „hallhatóvá” tenni a fényt (jobb híján így neveznék), s ezt az információt továbbítják az agyba. Matematikusaink kimutatták, hogy elméletileg lehetséges (a megfelelő, igen bonyolult számítások elvégzése útján) ezen fénysugarak segítségével biztonságosan mozogni a környezetben éppen olyan jó hatásfokkal, sőt bizonyos tekintetben még hatékonyabban is, mint a közönséges ultrahangjelek segítségével. Ám, ki hitte volna, hogy egyszerű emberi lények képesek ilyen számítások elvégzésére?

A denevérek visszhangszondázása csupán egyike a sok ezer példának, amelyet kiválaszthattam volna, hogy érzékeltessem a „jó tervezés” elméletét. Úgy tűnik, az állatokat valamilyen, elméletileg képzett és gyakorlatilag zseniális fizikus vagy mérnök tervezte, ám semmi jele annak, hogy maguk a denevérek ismernék vagy értenék ezt az elméletet ahhoz hasonlóan, ahogy a fizikus érti. A denevért a rendőrség által használt *radarberendezés*hez lehetne hasonlítani, nem pedig ahhoz a személyhez, aki azt a berendezést tervezte. Ez utóbbi értette a Doppler-effektust, s ezt a tudását világosan rögzített matematikai egyenletek alakjában fejezte ki. A készülék konstrukciója tartalmazza a tervezőnek ezt a tudását, maga a berendezés azonban nincs tisztában saját működési elvével. Elektronikus alkatrészeket tartalmaz, amelyek úgy kapcsolódnak egymáshoz, hogy automatikusan összehasonlíttanak két radarfrekvenciát, az eredményt pedig az ember számára érthető dimenzióra (km/óra sebességre) alakítják át. Itt bonyolult számításról van szó, de a megfelelő módon összekapcsolt, kis dobozban elhelyezett modern elektronikus alkatrészek ezt játszva elvégzik. Az összekapcsolást természetesen bonyolult, tudatos agy végezte el (vagy legalábbis az készítette el a kapcsolási rajzot), de a doboz folyamatos működéséhez már nincs szükség ilyen tudattal rendelkező agyvelőre.

Aki ismeri az elektronikát, az könnyen befogadja azt a gondolatot, hogy

öntudattal nem bíró gépek is viselkedhetnek úgy, mintha értenék a bonyolult matematikai gondolatokat. Ezt a felismerést közvetlenül átvihetjük az élő gépek működésére is. A denevér olyan gépezet, amelynek belső elektronikus szerkezete úgy vezérli a szárnyizmokat, hogy repülés közben elkapja a rovarokat, azokhoz az öntudatlan irányított rakétalövedékekhez hasonlóan, amelyek repülés közben eltalálják a repülőgépet. A technikából merített intuitív gondolkodásunk idáig helyes, de a technikával kapcsolatos ismereteink alapján azt is belátjuk, hogy a bonyolult gépek keletkezése mögött tudatos, valamilyen célt követő tervező rejlik. Az élő gépezetek esetében ez a második intuitív következtetésünk már téves: ebben az esetben a „tervező” az öntudattal nem bíró természetes szelekció, a vak órásmester.

Remélem, a denevérekről szóló történet éppúgy lenyűgözi az olvasót, mint engem, s amint lenyűgözte volna William Paley-t is. Bizonyos tekintetben ugyanaz volt a célom, mint neki: nem szeretném, ha az olvasó alábecsülné a természet csodálatos alkotásait és azt a nehézséget, amely ezek kifejtésében rejlik. Jóllehet Paley idejében még nem ismerték az echolokációt, bármelyik példája épp ilyen jó szolgálatot tett. Paley úgy próbálta meggyőzőbbé tenni érvelését, hogy példát példára halmozott. Sorra vette az emberi testrészeket tetőtől talpig, s kimutatta, hogy a legkisebb részletig mindegyik egy gyönyörűen kidolgozott óra szerkezetére hasonlít. Hajlanék arra, hogy kövessem példáját, mivel csakugyan rengeteg csodálatos esetet lehetne elmesélni, s én szeretek mesélni. Valójában azonban nincs szükség a példák szaporítására, megteszi egy vagy kettő is. Az a feltevés, amelynek segítségével megmagyarázzuk a denevérek mozgását, alkalmas példa arra, hogy bármi mást is megmagyarázzunk az élővilágban; ha pedig Paley tévedett valamelyik példája kifejtésében, azt úgysem tudjuk helyrehozni azáltal, hogy tovább szaporítjuk a példákat. Paley abból indul ki, hogy az élő „életet” egy felsőbbrendű óraműves tervezte és készítette el. Korunk feltevése szerint ezt a munkát az evolúció egyes szakaszai során a természetes kiválasztódás végezte el.

Manapság a teológusok nem fogalmaznak olyan „direkt” módon, mint annak idején Paley. Nem cibálnak elő bonyolult élő szerkezeteket és nem mondják azt, hogy ezeket, az órához hasonlóan, nyilván valamilyen teremő tervezte és hozta létre. Hajlanak azonban arra, hogy rámutassanak ezekre a szerkezetekre és azt mondják: „Lehetetlen elhinni, hogy ilyen bonyolultság vagy ilyen tökéletesség a természetes szelekció eredménye lehet”. Valahányszor ilyen megjegyzést olvasok, az az ingerem támad, hogy odaírom a margóra: „Hazabeszél”. Hugh Montefiore birminghami érsek a *The Probability of God* (Az Isten valószínűsége) című, nemrég megjelent könyvében számos ilyen példát találunk (én egyetlen fejezetben harmincötöt számoltam össze). Fejezetem további részében azért hivatkozom példáimmal kapcsolatban erre a könyvre, mert ez jó nevű és művelt szerző őszinte és becsületes kísérlete arra, hogy korszerűsítse a természeti teológiát. A „becsületes” jelzőt itt komolyan gondolom. Néhány teológus kollégájától eltérően Mon-

tefiore püspök nem riad vissza annak megállapításától, hogy Isten létezése egyértelműen ténykérdés. Nem alkalmaz olyan bizonytalan, a lényegét megkerülő érvelést, mint például, hogy „A kereszténység életmód. Isten *létezésének* kérdését kiiktatjuk: olyan tükörkép ez, amelyet a realizmus illúziói hoztak létre”. Könyvének egyes részeiben fizikával és kozmológiával foglalkozik: jómagam nem vagyok illetékes ezzel kapcsolatban állást foglalni, de azt megjegyzem, hogy valódi fizikusok tekintélyére támaszkodik. Bárcsak ezt tette volna könyvének biológiai részeinél is: sajnálatos módon azonban itt inkább Arthur Koestler, Fred Hoyle, Gordon Rattray-Taylor és Karl Popper műveire hagyatkozott! A püspök hisz az evolúcióban, ám képtelen elhinni, hogy a természetes szelekció kielégítő magyarázatot ad az evolúció tényleges menetére. (Ennek részben az az oka, hogy másokhoz hasonlóan a püspök is sajnálatos módon félreérti a természetes szelekciót, „véletlenszerűnek” és „értelmetlennek” tartja.)

Sokat merít abból a jelenségből, amelyet az emberi hitetlenség gondolkodásmódjának nevezhetnénk. Az egyik fejezetben, az alábbi sorrendben, a következő kifejezéseket találjuk:

„... úgy tűnik, ez nem magyarázható a darwinizmus segítségével... Nem könnyebb megmagyarázni... Nehéz megérteni... Nem könnyű megérteni... Éppoly nehéz azt is megmagyarázni... Nehezen tudom felfogni... Nehezen tudom belátni... Alig tudom megérteni... Úgy tűnik, nem lehetséges megmagyarázni... Nem látom be, hogyan... A neodarwinizmus a jelek szerint alkalmatlan az állatok viselkedése számos bonyolult sajátosságának magyarázatára... Nehéz belátni, az ilyen viselkedés hogyan alakulhatott ki pusztán a természetes kiválasztódás révén... Lehetetlen... Hogyan fejlődhetett ki ilyen bonyolult szerv?... Nem könnyű belátni... Nehéz megérteni...”

Az emberi hitetlenségre épülő érv rendkívül gyenge, amint azt már Darwin is megjegyezte. Némelykor pusztán tudatlanságon alapul. Ilyen például, hogy a püspök nem tudja megérteni, miért fehérek a jegesmedvék:

„Ami a rejtőzést illeti, ez nem mindig magyarázható könnyen a neodarwinizmus alapján. Ha a sarkvidéken a jegesmedve a domináns állatfaj, akkor a jelek szerint aligha volt szüksége arra, hogy fehér színnel álcázza magát.”

Ezt így kell érteni:

„A magam részéről, aki itt ülök a dolgozószobámban, aki soha nem voltam a sarkvidéken és jegesmedvét csak állatkertben láttam, a klasszikus irodalom és a teológia művein nevelkedtem, mostanáig képtelen voltam rájönni, miért jó a jegesmedvének, ha fehér.”

Ebben a konkrét esetben arról a feltevésről van szó, hogy csupán a zsákmányállatoknak van szüksége rejtőzésre. Ez figyelmen kívül hagyja, hogy a ragadozóknak is előnyös, ha a zsákmányállat nem veszi észre őket. A jegesmedve a jégtablákon pihenő fókákra vadászik. Ha a fóka kellő időben megpillantja a medvét, akkor el tud menekülni. Úgy vélem, a püspök úr azonnal megtalálná kérdésére a választ, ha elképzelné, hogy sötét bundás grizzlimedve vadászik a havon a fókákra.

A jegesmedvével kapcsolatos gondolatmenet szinte túlságosan könnyen megcáfolható, bizonyos fontos értelemben azonban nem ez a lényeg. Ha valamilyen fontos biológiai jelenséget a világ legnagyobb tekintélye sem tud megmagyarázni, ez még nem jelenti azt, hogy ez a jelenség megmagyarázhatatlan. Rengeteg rejtély tartotta magát évszázadokig, míg végül sikerült magyarázatot találni rá. Ami lényeges, hogy korunk legtöbb biológusa minden nehézség nélkül meg tudná magyarázni a természetes kiválasztódás alapján a püspök által említett mind a harmincöt példát, jóllehet nem mindegyik olyan könnyen magyarázható, mint a jegesmedvék színe. Most azonban nem az emberi találékonyságot vizsgáljuk. Ha találnánk is egyetlen példát, amelyet *nem tudunk* megmagyarázni, akkor sem szabadna messze-menő következtetéseket levonni ebből a tényből. Maga Darwin is nagyon egyértelműen foglalt állást ebben a kérdésben.

Az emberi hitetlenségen alapuló érvelésnek komolyabb változatai is vannak, s ezek nem csupán a tudatlanságra vagy a fantázia hiányára támaszkodnak. Az egyik ilyen érvelés közvetlenül kihasználja azt a bámulatot, amelyet rendkívül bonyolult gépezetek (pl. a denevérek echolokációs berendezésének a legapróbb részletekig terjedő tökéletessége) láttán érzünk. Hallgatólagosan azt feltételezik itt, hogy ilyen csodálatos dolgokat a természetes kiválasztás nyilván nem hozhatott létre. A püspök egyetértően idézi G. Bennett megállapítását a pókok hálószővésével kapcsolatban:

„Aki hosszú időn át figyelte ezt a tevékenységet, annak semmi kétsége nem lehet aziránt, hogy sem a ma élő pókok, sem őseik nem hozhatták létre ezt a hálót, de nem jöhetett az létre fokozatosan sem, véletlenszerű próbálkozások útján. Éppoly abszurd volna ezt feltételezni, mint azt gondolni, hogy a Parthenon bonyolult és tökéletes arányai úgy keletkeztek, hogy az emberek márványdarabokat hordtak egymásra.”

Mindez egyáltalán nem lehetetlen: sőt pontosan ez a szilárd meggyőződés, pedig meglehetősen jól ismerem a pókokat és hálóikat.

Ezután a püspök az emberi szemet veszi sorra és felteszi a költői kérdést (hallgatólagosan nem is várva rá választ): „Hogyan fejlődhetett ki ilyen bonyolult szerv?” Nem érv ez, csupán a hitetlenség kifejezése. Ennek alapja az az ambivalencia, amelyet mindnyájan érzünk, amikor a Darwin által rendkívül tökéletesnek és bonyolultnak nevezett szerveket figyeljük. Először is, ösztönösen nem tudjuk felfogni, milyen mérhetetlen idő állt az evolúciós változás rendelkezésére. A természetes szelekcióval kapcsolatban a legtöbb kételkedő azt még elfogadja, hogy kisebb változások létrejöhetnek, így például egyes lepkék sötét színe az ipari forradalom után. Ha ezt elfogadják azonban, rögtön rámutatnak arra, milyen csekély ez a változás. Amint a püspök is hangsúlyozza, a sötét színű lepke még nem *új faj*. Egyetértek azzal, hogy ez csekély változás, nem is hasonlítható a szem vagy az echolokáció kifejlődéséhez. De nem feledjük, a lepkék mindössze 100 év alatt változtatták meg színüket. Nekünk embereknek 100 év soknak tűnik, mivel hosszabb, mint az életünk, de a geológus körülbelül ezerszer hosszabb idővel kezdi a korok mérését.

A szemekből nem lesz kövület, s így nem tudjuk, milyen hosszú idő alatt fejlődött ez a szerv a semmiből a mai bonyolult műszerré, de mindenképpen több százmillió év állott rendelkezésére. Az összehasonlítás kedvéért gondoljunk arra, milyen változásokat idézett elő sokkal rövidebb idő alatt az ember a kutyák genetikai szelekciójában. Néhány száz vagy legfeljebb néhány ezer év alatt a farkastól eljutottunk a pekingi palotapincsiig, a bulldogig, a csivaváig és a bernáthegeyiig. Igaz, de ezek még mindig *kutyák*, nemde? Nem lett belőlük „másfajta” állat! Igen, ha szeretünk játszani a szavakkal, akkor ezeket mind kutyának nevezhetjük. De gondoljunk csak arra, mennyi idő kellett mindehhez. Tekintsük az ezen kutyafajták kitenyészítéséhez szükséges időt egy átlagos sétálási úthossznak. Ezen a skálán milyen messzire kellene mennünk, hogy megtaláljuk Lucy-t és rokonságát, az első emberi kövületeket, amelyekről biztosan tudjuk, hogy két lábon jártak? Ehhez mintegy két mérföldet kellene megtennünk. De milyen messzire kellene mennünk ahhoz, hogy eljussunk a Földön az evolúció kezdetéhez? A válasz: Londontól Bagdadig kellene koptatni a lábunkat. Gondoljunk azokra a változásokra, amelyek a farkastól a csivaváig vezetnek, majd szorozzuk meg azzal a lépésszámmal, amellyel Londonból Bagdadba juthatunk. Ezzel némi képet alkothatunk magunknak azokról a változásokról, amelyek valójában végbemennek a természetes evolúció során.

Az emberi szemhez és a denevérek füléhez hasonló, igen összetett érzékszervek evolúciójával kapcsolatban ösztönös hitetlenségünk másik forrása a valószínűségelmélet intuitív alkalmazása. Montefiore püspök C. E. Raven megállapítását idézi a kakukkal kapcsolatban, amely más madarak fészkebe rakja tojásait, s az utóbbiak akaratlanul utódai nevelőszülei lesznek. Sok más biológiai alkalmazkodáshoz hasonlóan a kakukknál is többszörös adaptációról van szó. Több különböző tény áll össze, s így jön létre ezen madararak parazita életmódja. Az egyik ilyen tény, hogy a nőstény más madarak fészkebe rakja tojásait, a fióka pedig kilökdösi a fészekből társait. Mindkét szokás elősegíti, hogy a kakukk sikeresen folytassa élősd-i életmódját. Raven így folytatja:

„Beláthatjuk, hogy az említett feltételek sorában minden egyes láncszem alapvető fontosságú az egész folyamat sikere szempontjából, külön-külön azonban mindegyik értelmetlen. Az egész „opus perfectusnak” egyszerre kellett létrejönni, márpedig – amint korábban megállapítottuk – csupán csillagászati számokkal fejezhető ki az ilyen eseménysor egyidejű véletlenszerű bekövetkezésének valószínűsége.”

Elvben az ilyen érvelés tiszteletre méltóbb, mint a pusztá leplezetlen hitetlenkedés. Ha megmérjük valamely feltevés statisztikai valószínűtlenségét, ezzel csakugyan felbecsülhetjük annak elhíhetőségét. Mi magunk is többször alkalmazzuk majd ezt a módszert a könyv során. Vigyázni kell azonban arra, hogy jól alkalmazzuk! Raven érvelésében két hiba is van. Először is jelentkezik nála az a már ismert, s számomra meglehetősen bosszantó tévedés, amely összekeveri a természetes szelekciót a „véletlennel”. Véletlenszerű a mutáció, a természetes szelekció azonban ennek éppen

ellenkezője. Másodsor, egyszerűen nem igaz, hogy az említett tények „önmagukban külön-külön céltalanok”. Nem igaz, hogy az egész tökéletes műnek egyszerre kellett megszületnie. Nem igaz, hogy minden egyes részlet elengedhetetlen az egész sikeréhez. Az egyszerű, kezdetleges, „félkész” szem vagy fül, csak echolokáció vagy kakukki élődiség stb. még mindig jobb, mint a semmi. Szem nélkül teljesen vakok vagyunk, fél szemmel azonban már legalább nagyjából érzékelhetjük a ragadozó mozgását, jólehet nem alkothatunk róla éles képet. Ez pedig az életet vagy a halált jelentheti. A következő két fejezetben részletesebben is foglalkozunk ezekkel a kérdésekkel.

3. FEJEZET

Halmazódó apró változások

Az eddigiekben már láttuk, hogy az élőlények túlságosan valószínűtlenek és túlságosan szépre „sikerültek” ahhoz, hogy véletlenül keletkezhetek volna. Akkor hát hogyan jöttek létre? A válasz, amelyet Darwin fogalmazott meg, a következő: az élőlények fokozatosan, lépésről lépésre alakultak ki kezdetleges alakzatokból, olyan ősi lényekből, amelyek elég egyszerűek ahhoz, hogy véletlenül is létrejöhetnek. A fokozatos fejlődés során minden egyes változás az előzőhöz képest elég egyszerű volt ahhoz, hogy véletlenül jöjjön létre, az így egymásra halmazódó lépések teljes sorozata azonban távolról sem véletlenszerű folyamat, ha figyelembe vesszük, milyen bonyolult a végtermék az eredeti kiinduláshoz képest. Ezt a halmazódó folyamatot a nem véletlenszerű túlélés irányítja. Ebben a fejezetben ennek a *halmazódó szelekciónak*, mint alapvetően „célszerű” folyamatnak a lehetőségeit szeretném bemutatni.

Ha kavicsos vízparton sétálunk, hamarosan észrevevesszük, hogy a kavicsok nem összevissza helyezkednek el: a kisebbek általában különálló csíkokban halmazódnak fel a part mentén, a nagyobbak pedig ezektől eltérő sávokat alkotnak. Valaki vagy valami osztályozta, elrendezte, kiválogatta ezeket a kavicsokat. A part közelében élő bennszülött törzs tagjai esetleg elgondolkodnak a világban végbemenő osztályozás vagy elrendezés ezen bizonyítékán, s talán valamilyen mítoszt alakítanak ki ennek magyarázatára; meglehet, hogy az égben lakozó takaros, rendszerető Nagy Szellem művének tulajdonítják. Lehet, hogy mi fölényesen mosolygunk ezen a babonás elképzelésen és megmagyarázzuk nekik, hogy ezt az elrendezést valójában a fizika vak erői (jelen esetben a hullámok mozgása) idézték elő. A hullámoknak nincs céljuk és nincs szándékuk, nincs takaros lelkük, sőt egyáltalán nincs lelkük. Ezek csupán nagy erővel dobálják a kavicsokat, amely erő más-más módon hat a nagy és a kis kavicsokra, s így ezek a part különböző magasságaiban kötnek ki. A rendetlenségből bizonyos fokú rend lesz, pedig semmiféle elme nem tervezte azt.

A hullámok és a kavicsok együtt olyan rendszer egyszerű példáját nyújtják, amely önmagától előállítja a rendezettséget. A világ tele van ilyen rendszerekkel. A lyuk a legegyszerűbb ilyen példa, amely eszembe jut. A lyukon csupán azok a tárgyak férnek át, amelyek kisebbek nála. Ez azt jelenti, hogy ha vaktában kezdjük összegyűjteni a tárgyakat a lyuk fölött,

s valamely erő ugyancsak vaktában rázogatni kezdi ezeket, egy idő múltán a lyuk felett és alatt nem véletlenszerűen osztályozódnak ezen tárgyak. A lyuk alatti térben a lyuknál kisebb méretű tárgyak lesznek, felette pedig a lyuknál nagyobbak maradnak. Az emberek persze már régen ismerik és felhasználják a rendszerezésnek ezt az egyszerű elvét, például a szita néven ismert célszerű eszköz segítségével.

Naprendszerünk a Nap körül keringő bolygók, üstökösök és kozmikus törmelék stabil elrendeződéséből áll, s alighanem még sok ilyen keringő rendszer létezik az Univerzumban. Minél közelebb van egy bolygó a Naphoz, annál gyorsabban kénytelen száguldozni, hogy leküzdje a Nap tömegvonzását, és stabil pályán maradjon. Minden egyes pálya esetében csupán egyetlen olyan sebesség létezik, amellyel a szóban forgó égitest keringhet és a pályán maradhat. Ha bármely más sebességgel haladna, vagy kirepülne a világűrbe, vagy belezuhanna a Napba, esetleg másik pályára térne. Ha tehát megnézzük naprendszerünk bolygóit, azt látjuk, hogy mindegyikük pontosan azzal a sebességgel kering, amely a Nap körüli stabil pályán tartja. Vajon a gondviselés áldott csodájáról van-e itt szó? Nem, pusztán egy újabb természetes „szitáról”. Nyilvánvaló, hogy minden bolygónak, amelyet a Nap körül látunk keringeni, pontosan a megfelelő sebességgel kell száguldania a világűrben, máskülönben nem láthatnánk azon a pályán – egyszerűen azért nem, mert nem lehetne ott! Ugyanilyen nyilvánvaló azonban, hogy ez nem bizonyítja a tudatos tervezést, csupán egy másfajta szűrő jelenlétét.

Az ilyen egyszerű jellegű szűrés önmagában azonban nem magyarázza meg az élőlények világában tapasztalt hallatlan méretű célszerű rendet. Még sem közelíti azt. Emlékezzünk a kombinációs zár hasonlatára. Az egyszerű szítálás segítségével előállított célszerűség nagyjából annak felel meg, hogy egytárcsás kombinációs zárat próbálunk kinyitni: pusztán szerencséivel ezt könnyen megtehetjük. Ezzel szemben az élő rendszereknél tapasztalt célszerűség olyan óriási kombinációs zárnak felel meg, amelynek szinte megszámlálhatatlanul sok tárcsája van. Ha egyszerű szítálás segítségével akarnánk előállítani olyan biológiai molekulát, amilyen például a hemoglobin (ez festi pirosra vérünket), ez olyan volna, mintha a hemoglobin összes aminosav építőkövét vaktában nagy halomba összeraknánk és azt remélnénk, hogy a hemoglobinmolekula egyszerűen a szerencse révén összeáll. Ehhez elképzelhetetlenül nagy szerencse kellene; ezt a példát Isaac Asimov és mások már felhasználták írásaikban arra, hogy megdöbbenésük vele az olvasót.

A hemoglobinmolekula négy, egymással összefonódó aminosavláncból áll. Vegyük például ezen négy lánc egyikét, amely 146 aminosavat tartalmaz. Az élőlényekben általában 20 különböző fajtájú aminosavat találunk. Ha 20 különböző dolgot 146 tagból álló sorban különbözőképpen kívánunk elrendezni, ezt felfoghatatlanul sokféleképpen megtehetjük; Asimov ezt „hemoglobinszám”-nak nevezi. Ennek értékét könnyen kiszámíthatjuk, de képtelenek vagyunk elképzelni. A 146 szemből álló lánc első láncszeme bármelyik lehet a 20 aminosav közül. Ugyanezt mondhatjuk a második

láncszemről is, s így a két szemből álló láncok lehetséges száma 20×20 , azaz 400. A 3 szemből álló láncok lehetséges száma $20 \times 20 \times 20$, vagyis 8000. A 146 láncszemből álló láncok lehetséges száma 20^{146} . Ez megdöbbentően nagy szám. Összehasonlításképpen: a milliónál az egyest hat nulla követi, a milliárdnál az egyest kilenc nulla követi. Az általunk keresett számnál, a hemoglobinszámnál – hozzávetőleg – az egyes után 190 nulla következik! Tehát $1 : 20^{146}$ az esélye annak, hogy pusztá szerencsével felépíthetjük a hemoglobint, pedig ez a molekula csupán elenyésző töredéke az élő test bonyolultságának. Az egyszerű szítálás tehát önmagában nyilván alkalmatlan arra, hogy előállítsa az élőlényekhez szükséges rendezettséget. A szűrés alapvető eleme az élő rend előállításának, de távolról sem elegendő ahhoz. Valami másra is szükség van. Ennek kifejtéséhez különbséget kell tenni az „egylépéses” és a „halmozódó” (kumulatív) szelekció között.

Az egylépéses szelekció és a halmozódó kiválasztás közötti alapvető különbség a következő. Az egylépéses szelekciónál a kiválasztott vagy osztályozott egységek (kavicsok vagy egyebek) osztályozása egyszer s mindenkorra megtörténik, ezzel szemben a halmozódó kiválasztásnál ezek „szaporodnak”, vagyis az egyik szítálási folyamat eredménye valamiképpen átkerül a következő szítálásba, amely szintén átkerül a következőbe... és így tovább. Az egyes egységek szelektálása vagy osztályozása egymást követő számos „nemzedéken” át folytatódik. Az egyik kiválasztott nemzedék végterméke a kiindulási pont a következő kiválasztási nemzedékhez, s ez így folytatódik sok-sok generáción keresztül. Azért kölcsönöztem magától értetődően ilyen szavakat, mint „szaporodás” és „generáció” az élőlények világából, mivel főleg ez utóbbiak nyújtanak példát az általunk ismert olyan dolgokra, amelyek részt vesznek a halmozódó kiválasztásban. Meglehet, rajtuk kívül nem is létezik más ilyen dolog, de e pillanatban nem szeretnék túlságosan magabiztos kijelentést tenni ezzel kapcsolatban.

Néha azt látjuk, hogy a szelek szeszélyes gyűrő és faragó játéka következtében a felhők ismert tárgyakra emlékeztetnek. Gyakran megjelenik könyvekben és folyóiratokban az a fénykép, amelyet egy kis repülőgép pilótája készített; ezen a képen mintha Jézus arcát látnánk, amint az égből tekint le reánk. Mindnyájan láttunk már olyan felhőket, amelyek hasonlítottak valamine, mondjuk rozmárra vagy mosolygó arcra. Egy ilyen hasonlóság az egylépéses kiválasztás, azaz egyszerű véletlen egybeesés eredménye, s így nem különösebben hatásos. Ugyancsak kevésbé hat ránk az állatövi jelek azon állatokhoz való hasonlósága, amelyről elnevezték ezeket (például Skorpió, Oroszlán stb.). Nem nyűgöz le bennünket úgy ez a hasonlóság, mint a biológiai alkalmazkodás eredménye, a halmozódó kiválasztás terméke. Különösnek, titokzatosnak vagy látványosnak nevezzük például, ha a vándor levélsáska a levélhez, az ájtatos manó pedig rózsaszín virághalmazhoz hasonlít. Ha a felhő egy menyétre emlékeztet, ezt alig méltatjuk figyelemre, úgyszólván meg sem említjük társunknak. Ezen túlmenően, könnyen

megváltoztatjuk véleményünket arról, valójában mihez is hasonlít az a felhő.

„Hamlet: Látja-e azt a felhőt? Majdnem olyan, mint egy teve.

Polonius: Isten engem, valóságos teve alakú.

Hamlet: Nekem úgy testszik, menyéthez hasonlít.

Polonius: A háta olyan, mint a menyétnek.

Hamlet: Vagy inkább cethal-forma?

Polonius: Nagyon hasonló cethalhoz.”

(Arany János fordítása)

Nem tudom, ki vetette fel elsőként azt a gondolatot, hogy Shakespeare összes műveit egy majom is le tudná vaktában pötyögtetni az írógépen, ha volna rá ideje. Itt a kulcsszó természetesen az idő. Vegyük szűkebbre majmunk feladatát: tegyük fel, hogy nem Shakespeare összes műveit, hanem csupán az előbbi idézet egy rövid mondatát („Methinks it is like a weasel”*) kell „előállítani”. Némileg megkönnyítjük a dolgot: olyan írógépet adunk neki, amelynek billentyűzetén csupán 26 nagybetű és egy szóköz-billentyű van. Mennyi idő alatt bukkan rá a majom véletlenszerűen erre a rövid mondatra?

Mivel az említett mondatban 28 betűhely van, tegyük fel, hogy kísérleti majmunk egyenként 28 leütésből álló próbasorozatokot végez. Ha sikerül helyesen legépelnie a mondatot, akkor vége a kísérletnek. Ha nem, akkor tovább folytatja a leütéssorozatokat. Majmot nem ismerek ugyan, szerencsére azonban 11 hónapos kislányom tapasztalt véletlengyártó készülék, aki nagyon is szívesen lép a kísérleti majomgépíró helyébe. A következőkben bemutatom, mit pötyögtetett le a számítógépen:

UNNK JK CDZZ F ZD DSDSKSM
S SS FMCV FU I DDRGLKDXRRDO
RDTE QDWFDVIOY UDSKZWDCCVYT
H CHVY NMGNBAYTDFCCVD D
RCDFYYIRM N DFSKD LD K WDWK
JKAUIZMZI UXDKIDISFUMDKUDXI

Miután lánynomnak egyéb fontos teendői is vannak, kénytelen voltam a számítógépet arra programozni, hogy utánozza a vaktában írógépelő kisbábát vagy majmot. Íme az eredmény:

WDLDMNLT DTJBKWIRZREZLMQCOP
Y YVMQKZPGJXWVHGLAWFVCHQYOPY
MWR SWTNUXMLCDLEUBXTQHNZVJQF
FU OVAODVYKDGXDEKYVMOGGS VT
HZQZDSFZIHIVPHZPETPWVOVPMZGF
GEWRGZRFBCTPGQMCKHFD BCW ZCCF

És így tovább, és így tovább. Nem nehéz kiszámítani, mennyi idő múlva

* „Nekem úgy tetszik, menyéthez hasonlít.” A továbbiakban az eredeti angol szöveget használjuk, mert a szerző által használt számítógép is erre volt beprogramozva. (A fordító megjegyzése)

várhatjuk, hogy a vaktában működő számítógép (vagy kisbaba, esetleg majom) legépelje a METHINKS IT IS LIKE A WEASEL sort. Gondoljuk meg, összesen *hányféle*, megadott hosszúságú betűsort gépelhetne le a majom, a kisbaba vagy a vaktában működő számítógép. Ugyanolyan számításról van szó, mint a hemoglobin esetében, s az eredmény is nagyjából ugyanolyan elképesztő. Az első helyen 27 választási lehetőségünk van (beleértve a szóközt is). Annak valószínűsége, hogy a majom a helyes betűt (M) üti le az első helyen, egy a 27-hez. Annak esélye, hogy az első két helyen megkapjuk a helyes betűket (ME) az $1/27 \times 1/27 = 1/729$ az előbbi gondolatmenet alapján. Annak valószínűsége, hogy megkapjuk az első szót (METHINKS) $1/27$ az említett 8 betű mindegyikének esetében, s így $1/27 \times 1/27 \dots$ 8-szor, azaz $1/27^8$. Annak valószínűsége, hogy megkapjuk a 28 betűhelyből álló teljes mondatot $1/27^{28}$, azaz $1/27$ -et önmagával kell megszorozni 28-szor egymásután. Ez igen csekély valószínűség, körülbelül 1 a 10 000 millió-millió-millió-millió-millióhoz. Nem kell sokat bizonygatni, hogy igen hosszú időbe telnék, mire megkapnánk a keresett mondatot, Shakespeare összes műveiről nem is beszélve.

Ennyit a véletlenszerű módosulásokon alapuló egy lépéses kiválasztásról, de mi a helyzet a halmazódó vagy kumulatív szelekció esetében? Mennyivel hatásosabb ez? Mondhatjuk, hogy sokkal hatásosabb. Talán első pillantásra fel sem tudjuk mérni, jóllehet szinte kézenfekvőnek látszik, ha jobban belegondolunk. Ismét számítógépünkhöz fordulunk, most azonban alapvetően más programot táplálunk be a gépbe. Indulásnál megint 28 véletlenszerűen felbukkanó 28 betűhelyet választunk:

WDLMNLT DTJBK WIRZREZLMQCO P

Ebből a véletlenszerű kifejezésből indul a „tenyészet”. A számítógép újra és újra kiírja ezt a sort, de *bizonyos esélyt* adunk másolás közben jelentkező véletlenszerű hibáknak („mutációknak”). A számítógép megvizsgálja az így keletkező értelmetlen mutáns betűsorokat (az eredeti kifejezés „utódait”) és azt választja ki, amelyik – ha mégoly csekély mértékben is – a leginkább hasonlít az elérni kívánt mondatra (METHINKS IT IS LIKE A WEASEL). Esetünkben a következő „nemzedék” győztes kifejezésének a következő adódott:

WDLTMNLT DTJB SWIRZREZLMQCO P

A javulás nem túlságosan szembeötlő. Ám folytassuk az eljárást, további „utódokat” tenyésztünk ki ebből a kifejezésből, s megint kiválasztunk egy „győztest”, s ez így megy tovább nemzedékről nemzedékre. 10 generáció után a továbbtenyésztésre kiválasztott kifejezés ez volt:

MDLDMNLS ITJISWHRZREZ MECS P

20 nemzedék után ezt kaptuk:

MELDINLS IT ISWPRKE Z WECSEL

Ekkor a hívő tekintet már látni vél bizonyos hasonlóságot az elérni kívánt kifejezéshez. 30 generáció után már semmi kétség:

METHINGS IT ISWLIKE B WECSEL

40 generáció után egy betű híján elértük a célt:

METHINKS IT IS LIKE I WEASEL

Végül a kiválasztott kifejezést a 43. generációban értük el. A programot újra végigfuttattuk a következő kezdő mondattal:

Y YVMQKZPFJXWVHGLAWFVCHQXYOPY

Minden tizedik generációt feltüntetve, így alakult a helyzet:

Y YVMQKSPFTXSHLIKEFV HQYSPY

YETHINKSPITXISHLIKEFA WQYSEY

METHINKS IT ISSLIKE A WEFSEY

METHINKS IT ISBLIKE A WEASES

METHINKS IT ISJLIKE A WEASEO

METHINKS IT IS LIKE A WEASEP

A célmondatot a 64. generációban értük el. Egy harmadik futtatáskor a számítógép a következő betűsorról kezdett:

GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

s ezen szelektív „kitenyésztés” 41. nemzedékében elértük a METHINKS IT IS LIKE A WEASEL mondatot.

Lényegtelen, hogy a számítógép mennyi idő alatt érte el a célmondatot. Aki kíváncsi rá, annak elmondom, hogy első alkalommal az egész feladatot az alatt az idő alatt végezte el, amíg megebédeltem. Ez körülbelül fél órát vett igénybe. (A lelkes komputerbarátok ezt esetleg túlságosan lassúnak tartják. Ennek az az oka, hogy a programot BASIC nyelven írtam, s ez lényegében gügyögés a számítógépnek. Amikor átírtam Pascalra, mindössze 11 másodpercet vett igénybe a feladat végrehajtása.) Nem vitás, a számítógépek ilyen dolgokban leghagyják a majmokat, de a különbség valójában nem jelentős. Itt az a lényeg, hogy mennyi idő alatt végzi el feladatát a halmozódó kiválasztás, s mennyi kellett volna ugyanennek a számítógépnek, ugyanilyen működési sebesség mellett elérni a célmondatot, az előbb említett egy lépéses kiválasztás útján: körülbelül egymillió-millió-millió-millió-millió év. Ez több, mint egymillió-millió-milliószorosa annak az időnek, amióta a világegyetem létezik. Gyakorlatilag helyesebb volna azt mondani, hogy az Univerzum teljes életkora elhanyagolható ahhoz az időhöz képest, amelyre akár a majomnak, akár a véletlenszerűen beprogramozott számítógépnek lett volna szüksége a célmondat legépeléséhez: olyan csekély volna ez az idő (mármint a világegyetem egész életkora), hogy az bőven beleférne az ilyen számítás hibahatáraiba. Ezzel szemben a véletlenszerűen, de az *összegződő szelekció szabályai* szerint működő számítógépnek ugyanezen feladat ellátásához körülbelül annyi időre van szüksége, hogy azt az emberi agy is képes felfogni: ez az idő 11 másodperc és egy ebédelés időtartama között van.

Nagy különbség van tehát a halmozódó kiválasztás (amelynél a mégoly csekély javulást is a további építkezés kiindulópontjaként használjuk) és az egy lépéses kiválasztás között (amelynél minden egyes „próbálkozás” nulláról indul). Ha az evolúciós fejlődés az egy lépéses kiválasztásra támaszkodott volna, akkor nem jutott volna semmire. Ha azonban létezett valamilyen

módja annak, hogy a természet vak erői létrehozzák a halmozódó kiválasztáshoz szükséges feltételeket, akkor különös és csodálatos eredményeket láthatunk. Valójában pontosan ez történt bolygónkon, s mi magunk vagyunk ezen eredmények legújabb, s talán legkülönösebb és legcsodálatosabb megnyilvánulásai.

Meglepő, hogy még ma is találkozunk az említett hemoglobinszámhoz hasonló számításokkal, s ezeket érvként próbáljuk felhasználni Darwin elmélete *ellen*. Akik ezt teszik, saját területük (az asztronómia vagy egyéb tudományág) kiváló szakértői, s a jelek szerint őszintén hiszik, hogy a darwinizmus pusztán a véletlen (az „egylépéses kiválasztás”) alapján magyarázza az élő szervezetek megjelenését. Ez a hiedelem, ami szerint a darwini evolúció „véletlenszerű”, több mint téves: pontosan ellentéte az igazságnak. A véletlen igen csekély szerepet játszik a darwini receptben, amelynek fontosabb tétele a leglényegét tekintve, a *nem* véletlenszerű halmozódó szelekció.

A felhők nem képesek halmozódó szelekcióra. Nincs olyan mechanizmus, amelynek révén a meghatározott alakú felhők önmagukra hasonlító utódokat hozhatnának létre. Ha volna ilyen mechanizmus, ha a menyétre vagy tevére hasonlító felhő nagyjából ugyanilyen alakú családfát tudna létrehozni, akkor esetleg megindulhatna a halmozódó szelekció. A felhők természetesen némelykor felbomlanak és „utódfelhőket” alkotnak, ez azonban nem elegendő a halmozódó szelekcióhoz. Arra is szükség van, hogy az adott felhő „ivadéka” jobban hasonlítson „szülőjére”, mint a „népesség” bármely régebbi szülőjére. Ezt a döntő mozzanatot a jelek szerint néhány filozófus is félreérti, aki újabban érdeklődik a természetes szelekció elmélete iránt. Az is szükséges továbbá, hogy a felhő alakjától függjön annak életbenmaradási és utódnemzési esélye. Meglehet, valamely távoli csillagrendszerben létrejöttek ezek a feltételek, s – ha elegendően sok millió év eltelt – az eredmény az éteri, légies élet kialakulása. Jó téma lehetne ez egy sci-fihez (*A fehér felhő* címet adhatnánk neki), pillanatnyilag azonban közelebb áll hozzánk a számítógépes modell, mint a majomból Shakespeare modell.

Jóllehet ez utóbbi minta (majomból Shakespeare) alkalmas arra, hogy segítségével megmagyarázzuk az egylépéses és a halmozódó szelekció közötti különbséget, több fontos szempontból mégis félrevezető. Például a szelektív „tenyésztés” egyes nemzedékeinél azon követelmény alapján bíráltuk el a mutáns „ivadék” betűsorokat, hogy mennyire hasonlítanak egy távoli ideális képhez (a „METHINKS IT IS LIKE A WEASEL” kifejezéshez). A való élet nem ilyen, az evolúció nem ismeri a hosszú távú célokat. Nincs távoli cél, nem létezik olyan végső tökéletes állapot, amely a kiválasztás mércéje lehetne, bár az emberi hiúság gyakran azt az abszurd gondolatot dédelgeti, hogy fajunk az evolúció végső célja. A való életben a szelekció szempontja mindig rövid távú: egyszerűen a túlélés vagy, általánosabban szólva, a sikeres szaporodás. Ha sok milliárd év után visszatekintve úgy tűnik, hogy a fejlődés elért bizonyos távoli célt, ez minden esetben a rövid

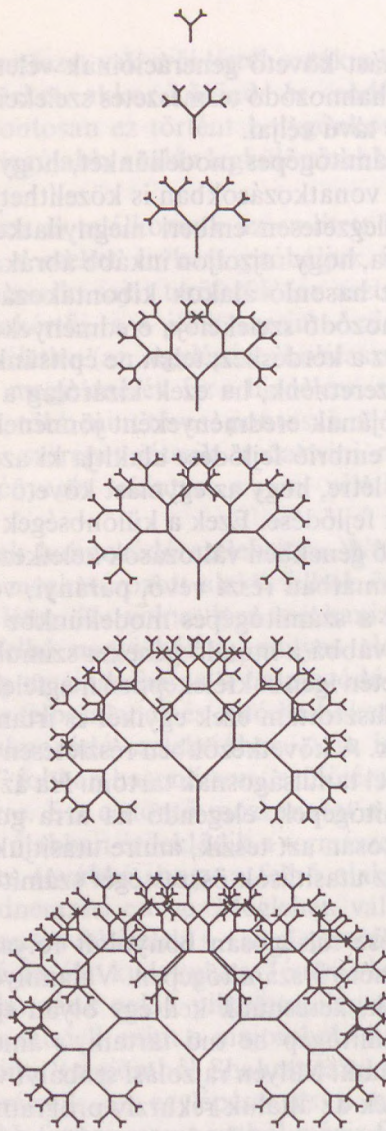
távú szelekció egymást követő generációinak véletlen következménye. Az „óraműves”, azaz a halmozódó természetes szelekció nem törődik a jövővel és nincsenek hosszú távú céljai.

Módosíthatjuk számítógépes modellünket, hogy vegye figyelembe ezt a szempontot, de más vonatkozásokban is közelíthetjük a valósághoz. A betűk és a szavak jellegzetesen emberi megnyilatkozások; utasítsuk tehát számítógépünket arra, hogy rajzoljon inkább ábrákat. Meglehet, talán megfigyelhetjük állathoz hasonló alakok kibontakozását a számítógépben, a mutáns alakok halmozódó szelekciója eredményeként. Nem szabad előítéllettel közelíteni ehhez a kérdéshez, tehát ne építsünk be a programba konkrét állati képeket. Szeretnénk, ha ezek kizárólag a véletlenszerű mutációk halmozódó szelekciójának eredményeként jönnének létre.

A való életben az embrió fejlődése alakítja ki az egyes állatok formáját. Az evolúció úgy jön létre, hogy az egymást követő nemzedékek során kissé módosul az embriók fejlődése. Ezek a különbségek úgy alakulnak ki, hogy a fejlődést szabályozó génekben változások keletkeznek (mutációnak nevezzük az említett folyamatban részt vevő, parányi, véletlen mozzanatot). Be kell építenünk tehát a számítógépes modellünkbe az embrió fejlődéséhez hasonló utasítást, továbbá a mutáló géneket szimuláló mozzanatot is. Számítógépes modell esetén igen sokféleképpen megfelelhetünk ezeknek a követelményeknek. Kiválasztottam ezek egyikét és írtam egy olyan programot, amely megfelel ennek. A következőkben részletesen ismertetem ezt a számítógépes modellt, mivel tanulságosnak tartom. Ha az olvasó számára teljesen ismeretlenek a számítógépek, elegendő ha arra gondol, hogy ezek olyan gépek, amelyek pontosan azt teszik, amire utasítjuk őket, ám az eredmény gyakran meglepő. Az utasítások összességét számítógépes programnak nevezzük.

Az embrió fejlődése túlságosan bonyolult folyamat, s így nem tudjuk utánózni kis teljesítményű számítógépen. Valamilyen egyszerűsített analógiára van szükségünk, keresnünk kell egy olyan egyszerű képrajzoló szabályt, amelyet a számítógép be tud tartani, s amelyet azután a „gén” hatására módosíthatunk. Milyen rajzolási szabályt válasszunk? A számítástechnikai szakkönyvek az általuk rekurzív programozásnak nevezett módszer lehetőségeit gyakran egyszerű „*fanövesztő*” program segítségével mutatják be. Induláskor a számítógép egyetlen függőleges vonalat rajzol, amely azután kétfelé ágazik. A továbbiakban minden egyes ág alágakra oszlik, majd ezek al-alágakra és így tovább. Azért nevezzük ezt rekurzívnak, mert mindig ugyanazt a szabályt (jelen esetben az elágazás szabályát) alkalmazzuk a fa növesztéséhez. Teljesen mindegy, hogy mekkorára nő a fa: mindig ugyanazt az elágazási szabályt alkalmazzuk az ágacska végénél.

A rekurzió mélysége azt az elágazási számot jelenti, amelynek elérésekor a folyamatot leállítjuk. A 2. ábrán láthatjuk, mi történik, ha a számítógépet mindig pontosan ugyanazon rajzolási szabály betartására utasítjuk, de a rekurzió különböző mélységeit alkalmazzuk. A rekurzió magasabb szintjé-



2. ábra

nél az ábra meglehetősen bonyolulttá válik, de a második ábrán világosan látható, hogy még mindig ugyanarról az egyszerű elágazási szabályról van szó. Természetesen ugyanez történik az élő fa esetében is. A tölgyfa vagy az almafa elágazási mintája bonyolultnak látszik, ám a valóságban nem az. Az elágazási szabály alapján véve rendkívül egyszerű, s csupán azért tűnik a fa nagyinak és zezzugosnak, mert visszatérően jelentkezik a fa összes növekvő hajtásánál: az ágakból alágak, majd al-alágak lesznek és így tovább.

A rekurzív elágazás jó hasonlat arra is, hogy érzékeltessük a növények és általában az állatok embrionális fejlődését. Nem azt állítom, hogy az állati embriók ágakat növesztő fákhoz hasonlítanak. Nem erről van szó, de minden embrió a sejtosztódás révén növekszik, a sejtek pedig mindig két utódsejtre osztódnak. A gének a testekre – vagyis a sejtosztódás kétféle ágazó mintájára – végső fokon helyi (a sejtekre gyakorolt) befolyásuk révén hatnak. Az állat génjei soha nem jelentenek valamilyen totális tervet vagy az egész test rajzát (amint később látjuk majd). A gének inkább tervrajzra vagy receptre emlékeztetnek, méghozzá olyanra, amelyet nem a fejlődő embrió egésze, hanem csupán az egyes sejtek vagy azok helyi halmaza követ. Nem tagadom, hogy az embriónak, illetve később a kifejlett állatnak meghatározott alakja van, az azonban annak révén alakul ki, hogy sok helyi sejthatás érvényesül a fejlődő testben, ezek pedig főleg kétirányú elágazásokból (a kétirányú sejtosztódásból) állnak. A gének végső fokon úgy befolyásolják a kifejlett testet, hogy ezen helyi eseményekre hatnak.

A farajzolásra vonatkozó egyszerű elágazási szabály már ígéretes analógiának tűnik az embrionális fejlődés ábrázolására, és ezért a Fejlődés nevű kis számítógépes programba csomagoljuk, a továbbiakban pedig beágyazzuk ezt az Evolúció nevű nagyobb programba. Az említett nagyobb program megírásának első lépéseként figyelmünket most a génekre fordítjuk. Hogyan ábrázoljuk ezeket számítógépes modellünkben? A valóságban a gének két feladatot végeznek: befolyásolják a fejlődést és átadódnak a későbbi nemzedékeknek. A valóságos állatokban és növényekben sok tízezer gén van, mi azonban megelégszünk 9 génnel számítógépes modellünkben. A 9 gén mindegyikét egy-egy szám képviseli a számítógépben, s ezeket a gének értékének nevezzük. Egy adott gén értéke például 4 vagy -7 lehet.

Hogyan befolyásolhatják ezek a gének a fejlődést? Nagyon sok mindent tehetnek. Itt az alapvető gondolat az, hogy parányi mennyiségi változásokat idézzenek elő a Fejlődés nevű rajzolási szabályban. Így például az egyik gén módosíthatja az elágazás szögét, egy másik hatással lehet az adott ág hosszúságára. Könnyen belátható, hogy a gén befolyásolhatja a rekurzió mélységét, az egymást követő elágazások számát. Ezt a feladatot a 9. génre osztottam. A 2. ábrát úgy is tekinthetjük tehát, mint 7 egymással rokonságban álló organizmust, amelyek csupán a 9. génben különböznek egymástól. Nem részletezem itt, mi a többi 8 gén feladata. Ezekről általános minőségi képet kaphatunk, ha tanulmányozzuk a 3. ábrát. A rajz közepén láthatjuk az alapfát, a 2. ábra egyik részletét. A többi nyolc e körül helyezkedik el. Ezek mindnyájan azonosak vele azzal az eltéréssel, hogy mindegyiküknél egy-egy (más-más) gént módosítottam („mutáció”). A középső fától jobbra levő rajz például azt mutatja be, mi történik, ha az 5-ös gén mutáción megy keresztül (értéke eggyel növekszik). Ha a könyv terjedelme engedné, szívesen bemutatnám a középső fa körül elhelyezkedő 18 mutánsból álló gyűrűt. A 18-as szám nem véletlen: 9 gént használtam, s ezek mindegyike felfelé (+1), illetve lefelé (−1) változhat. A 18 fából álló gyűrű tehát elégséges

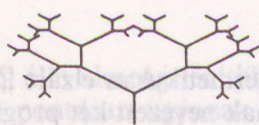
volna az összes lehetséges egy lépéses mutáns ábrázolására, amely a középső fából keletkezhet.

Az említett faábrák mindegyikének megvan a maga kizárólagos „génképlete”, a 9 gén számszerű értéke. Ezeket nem írtam le, mivel önmagukban semmit nem jelentenek az olvasónak. Ugyanez érvényes a valódi génekre is: csupán akkor kapnak jelentést, amikor a fehérjeszintézis révén lefordítódnak a fejlődő embrió növekedési szabályaivá. A számítógépes modellnél is így van: a 9 gén számszerű értékei csupán akkor jelentenek valamit, ha lefordítjuk azokat az elágazó faábra növekedési szabályaira. Mégis, valamilyen képet kaphatunk az egyes gének tevékenységéről, ha összehasonlítjuk két olyan lény testét, amelyről tudjuk, hogy meghatározott génben térnek el egymástól. Hasonlítsuk össze például a 3. ábra közepén levő kiindulási rajzot a két oldalán elhelyezkedő fával, s így fogalmat alkothatunk az 5. gén működéséről.

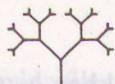
Pontosan ezt teszik a valódi genetikusok is, akik általában nem tudják, hogyan hatnak a gének az embrióra. Nem ismerik az állatok teljes genetikai képletét sem, de ha két kifejlett állat testét összehasonlítják (amelyekről tudják, hogy egy adott gén vonatkozásában térnek el egymástól), akkor megismerhetik ezen gén hatását. A valóságban ez nem ilyen egyszerű, mivel a gének oly módon hatnak egymásra, hogy az túlmegy az egyszerű összegeződésen. Ugyanez vonatkozik a számítógép által rajzolt faábrákra is, amint a későbbi képeken majd láthatjuk.

Bizonyára észrevették, hogy az összes alakzat a jobb-bal tengely körül szimmetrikus. Olyan megkötés ez, amelyet a Fejlődés programjában alkalmaztam. Részben a „szépség” kedvéért, részben azért, hogy takarékoskodjam a felhasználandó gének számával (ha a gének nem érvényesítenék ezt a tükrözési hatást a fa két oldalán, akkor különálló génekre volna szükség a bal és a jobb oldalon); végül pedig azt reméltem, hogy állatokhoz hasonló alakzatokat kapok, a legtöbb állat teste viszont nagyjából tükröszimmetrikus. Ugyanezen oknál fogva ezután már nem fának, hanem testnek vagy biomorfnak nevezem teremtményeimet. A biomorf nevet a festő Desmond Morris adta a szürrealista képein látható, az állatokra emlékeztető alakzatoknak. Ezek a képek nagyon a szívemhez nőttek, mivel egyikük első könyvem borítóján szerepelt. Desmond Morris szerint ezek a biomorfok „fejlődnek” a lelkében, s ez az evolúció nyomon követhető képein.

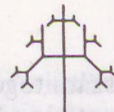
Visszatérve a számítógép által rajzolt biomorfokhoz és a 18 lehetséges mutánsból álló gyűrűhöz (amelyből nyolcat mutatok be a 3. ábrán): miután a gyűrű minden egyes tagja csupán egyetlen mutációs lépéssel távolodik el a központi biomorftól, nem nehéz ezeket a középpontban levő szülő gyermekeinek tekinteni. Gondoljunk a szaporodás analógiájára, amelyet (a fejlődéshez hasonlóan) szintén kis számítógépprogramba csomagolhatunk, hogy azután beágyazzuk az Evolúciónak nevezett nagy programba. A Szaporodással kapcsolatban két dolgot jegyezzünk meg: először is, ezeknek a lényeknek nincs neme (szaporodásuk ivartalan). Mégis, biomorfjaimat nő-



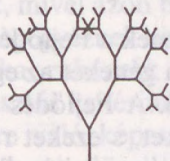
gén 1 -



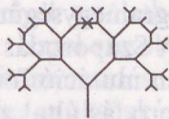
gén 9 -



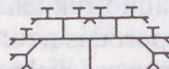
gén 1 +



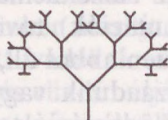
gén 5 -



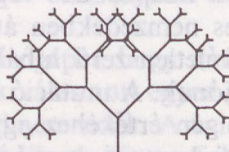
kiindulási fa



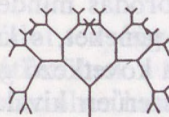
gén 5 +



gén 7 -



gén 9 +



gén7 +

3. ábra

tenyeknek tekintem, mivel az ivartalanul szaporodó állatok (például a levéltetvek) szinte mindig alapvetően nőstényként jelennek meg. Másodszor, valamennyi mutációmra érvényes megkötés, hogy egyenként jelennek meg. A gyermek a 9 gén közül mindig csupán egyben különbözik szülőjétől; ezen túlmenően, az összes mutáció úgy jön létre, hogy egyet hozzáadunk vagy levonunk a megfelelő szülőgén értékéből. Ezek csupán önkényes szabályok: másként is megfogalmazhattuk volna azokat, s mégis megőrizték volna biológiai realitásukat.

Ugyanez nem érvényes a modell továbbiakban ismertetendő jellemvonására, amely a biológia egyik alapelvét képviseli. A gyermekek alakja nem közvetlenül a szülő alakjából származik. Minden gyermek saját külön génjei értékétől kapja alakját (amelyek meghatározzák az elágazási szögeket, távolságokat stb.), viszont minden gyermek a szülőtől kapja 9 génjét. A való életben pontosan ugyanez történik. Nem a test öröklődik egyik nemzedékről a másikra, hanem a gének, s ezek befolyásolják a test embrionális fejlődését. Később ugyanezek a gének vagy átkerülnek a következő nemzedékbe, vagy nem. Jellegüket nem módosítja a test fejlődésében való részvételük, de annak valószínűségét, hogy öröklődnek-e, nagyon is befolyásolja azon test sikeres életben maradása, amelynek létrehozásában segédkeztek. Ezért fon-

tos, hogy számítógépes modellünkben egymástól hermetikusan elzárt „rekeszben” tartjuk a Fejlődésnek, illetve Szaporodásnak nevezett két programot. Annyiban tekintjük ezt hermetikus elzárásnak, hogy a Szaporodás átadja a génértékeket a Fejlődésnek, ahol ezek befolyásolják a fejlődés szabályait. Ezzel szemben a Fejlődés képtelen visszajuttatni a génértékeket a Szaporodásnak: ez a lamarckizmussal volna egyenértékű (lásd a 11. fejezetet).

Összeállítottuk tehát két progamegységünket, s ezeknek a Fejlődés, illetve a Szaporodás nevet adtuk. A Szaporodás átörökíti a géneket az egymást követő nemzedékekre, s közben mutáció fordulhat elő. A Fejlődés átveszi az adott generációban a Szaporodás által adott géneket, s ezeket rajzolótevékenységgé alakítja át, majd a számítógép képernyőjén megjelenik a test képe. Itt az ideje, hogy az Evolúciónak nevezett nagy programban egyesítsük ezt a két egységet.

Az Evolúció lényegében a Szaporodás vég nélküli ismétlődéséből áll. A Szaporodás minden egyes nemzedékben átveszi az előző nemzedéktől örökölt géneket, s kisebb véletlenszerű hibákkal (mutációk) továbbadja azokat a következő generációnak. A mutáció egyszerűen abból áll, hogy a véletlenszerűen kiválasztott gén értékéhez egyet hozzáadunk vagy abból egyet levonunk. Ez azt jelenti, hogy az egymást követő generációk során az eredeti östől igen jelentős mértékben eltérhetnek a gének a lassú, egyenként kis lépésekből álló, halmozódó sorozat végén. Jóllehet az egyes mutációk véletlenszerűek, az egymást követő generációk során létrejövő „halmazati” változás egyáltalán nem véletlenszerű. Az adott nemzedéken belül az utódok véletlenszerűen különböznek szüleiktől, de egyáltalán nem a véletlen határozza meg, hogy ezen utódok közül melyik megy tovább a következő nemzedékbe. Itt van szerepe a darwini kiválasztódásnak, amelynek szempontja nem a génállomány, hanem az a testforma, amelyet a gének befolyásolnak a Fejlődés révén.

A Szaporodáson kívül minden egyes nemzedékben a gének Fejlődésen is átmennek, amely a képernyőn kialakítja a megfelelő testet a saját szigorú szabályai szerint. Minden egyes nemzedéknél egész „alom” (azaz a következő generáció egyedei) jelenik meg a képernyőn. Ezek mindnyájan ugyanazon szülő mutáns gyermekei, egy-egy génben különböznek szüleiktől. Ez a rendkívül nagy mutációs arány a számítógépes modell határozottan *nem biológiai* jellemvonása. A valóságban egymilliomodnál is kisebb annak a valószínűsége, hogy valamelyik gén mutációt szenved. Azért építettem be a modellbe ezt a nagy mutációs sebességet, hogy megkönnyítsem az emberi szem munkáját, amikor a számítógép képernyőjén követi az eseményeket, elvégre ott nem várhatunk egymillió generáción át a mutációra!

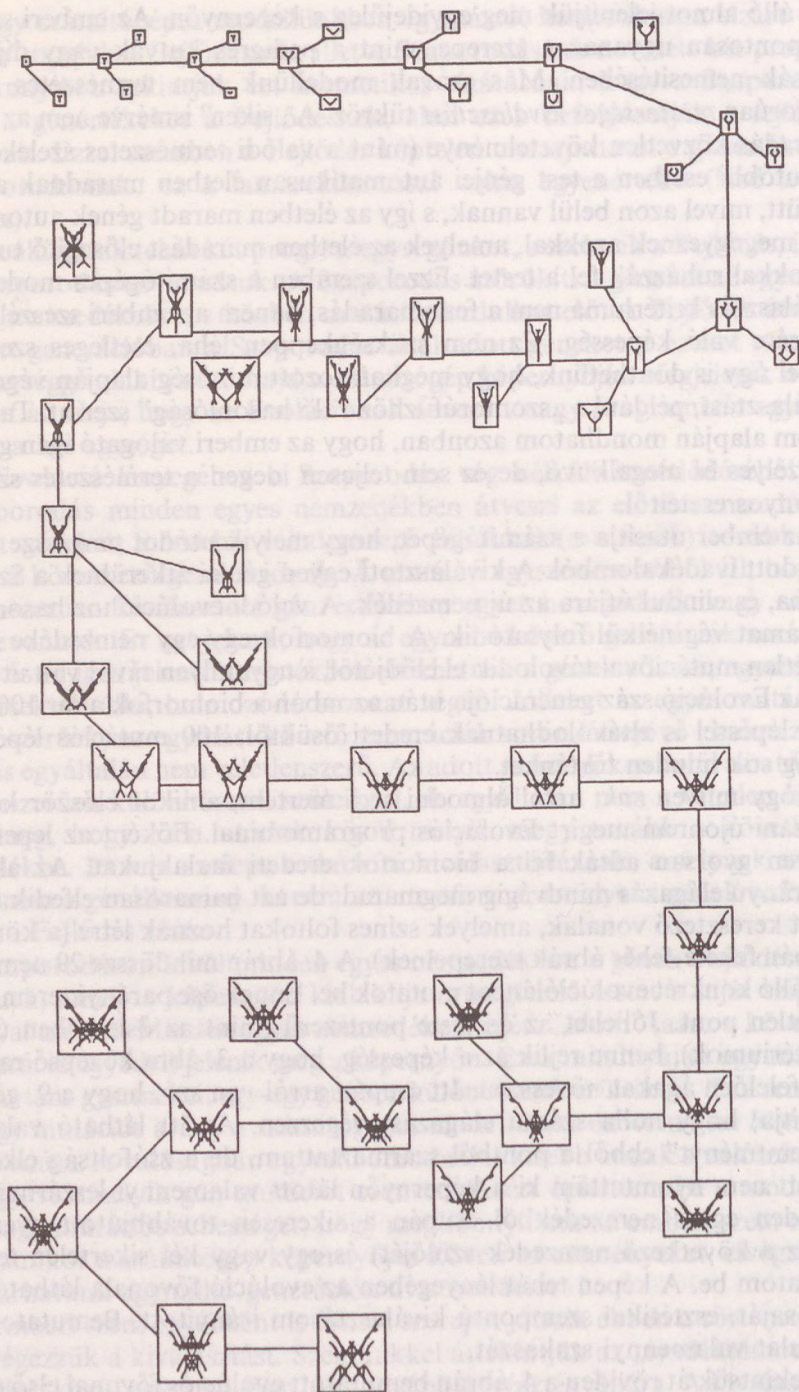
Az emberi szem egyébként is fontos szerepet játszik ebben a történetben: ezzel végezzük a kiválasztást. Szemünkkel áttekintjük az „ivadékalmost”, és az utódok közül egyet kiválasztunk továbbtenyésztés céljára. A kiválasztott egyed lesz azután a következő generáció szülője, s az ennek mutáns gyermekei-

ből álló almot jelenítjük meg egyidejűleg a képernyőn. Az emberi szemnek itt pontosan ugyanaz a szerepe, mint a pedigres kutyák vagy díjnyertes rózsák nemesítésében. Más szóval, modellünk nem természetes, hanem szigorúan *mesterséges kiválasztást* tükröz. A „siker” ismérve nem az életben maradás közvetlen követelménye (mint a valódi természetes szelekciónál). Ez utóbbi esetben a test génjei automatikusan életben maradnak a testtel együtt, mivel azon belül vannak, s így az életben maradt gének automatikusan megegyeznek azokkal, amelyek az életben maradást elősegítő tulajdonságokkal ruházzák fel a testet. Ezzel szemben a számítógépes modellben a kiválasztás kritériuma nem a fennmaradás, hanem az emberi szeszély kielégítésére való képesség. Ez nem szükségképpen léha, esetleges szempont, mivel úgy is dönthetünk, hogy meghatározott minőség alapján végezzük a kiválasztást, például a „szomorúfűzhöz való hasonlóság” szerint. Tapasztalatom alapján mondhatom azonban, hogy az emberi válogató igen gyakran szeszélyes és megalkuvó, de ez sem teljesen idegen a természetes szelekció bizonyos eseteitől.

Az ember utasítja a számítógépet, hogy melyik utódot tenyessze tovább az adott ivadékalomból. A kiválasztott egyed génjei átkerülnek a Szaporodásba, és elindul útjára az új nemzedék. A valódi evolúcióhoz hasonlóan a folyamat vég nélkül folytatódik. A biomorfok egy-egy nemzedéke csupán egyetlen mutációval távolodik el elődjétől, s ugyanilyen távol van utódjától is. Az Evolúció száz generációja után azonban a biomorfok akár 100 mutációs lépéssel is eltávolodhatnak eredeti ősüktől, 100 mutációs lépés alatt pedig sok minden történhet.

Hogy milyen *sok*, arról álmodni sem mertem, amikor először kezdtem játszani újonnan megírt Evolúciós programommal. Főként az lepott meg, milyen gyorsan adták fel a biomorfok eredeti faalakjukat. Az alapvető kétirányú elágazás mindvégig megmarad, de azt hamarosan elfedik az egymást keresztező vonalak, amelyek színes foltokat hoznak létre (a könyvben csupán fekete-fehér ábrák szerepelnek). A 4. ábrán mindössze 29 nemzedékből álló konkrét evolúcióláncot mutatok be. Ennek öse parányi teremtmény, egyetlen pont. Jóllehet az ős teste pontszerű (mint az őslevesben úszkáló baktériumok), benne rejlik az a képesség, hogy a 3. ábra középső rajzának megfelelően ágakat növelessen. Itt csupán arról van szó, hogy a 9. gén arra utasítja, hogy nulla számú elágazást végezzen. Az itt látható valamennyi „teremtményt” ebből a pontból származtattam, de a zsúfoltság elkerülése végett nem nyomtattam ki a képernyőn látott valamennyi leszármazottat. Minden egyes nemzedékből csupán a sikeresen továbbjutott gyermeket (azaz a következő nemzedék szülőjét) és egy vagy két sikertelen testvérét mutatom be. A képen tehát lényegében az evolúció fővonala látható, amelyet saját, esztétikai szempontú kiválasztásom irányított. Bemutatom a fő vonulat valamennyi szakaszát.

Tekintsük át röviden a 4. ábrán bemutatott evolúciós fővonal első néhány nemzedékét. A második nemzedékben a pontból Y lesz, amely a következő



4. ábra

két generáció során növekszik. Ezután az ágak kissé behajlanak, jól megépített katapulthoz hasonlóan. A 7. nemzedék során kiemelkedik ez a görbület, s a két ág majdnem összeér, tovább növekszik, s a 8. nemzedék során mindegyiken egy pár parányi függelék keletkezik. A 9. generációban ezek újra eltűnnek, s a katapult szára hosszabb lesz. A 10. nemzedék virágmet-szetre hasonlít: a behajló oldalágak középső nyúlványt vagy bibét közrefogó szirmokra emlékeztetnek. A 11. nemzedékben ugyanez a virágalakzat meg-növekszik és kissé bonyolultabbá válik.

Nem folytatom tovább a beszámolót: a rajzok önmagukért beszélnek mind a 29 nemzedék során. Figyeljük meg, hogy egy-egy generáció alig különbözik szülőjétől és testvéreitől. Miután kissé mindegyik eltér szülőjétől, természetsszerűleg várható, hogy *jobban* különbözik nagyszülőitől (és unokáitól) és még inkább eltér dédszüleitől (és dédunokáitól). Pontosan ez történik a halmozódó (kumulatív) evolúció során, jöllehet – az általunk alkalmazott nagy mutációs sebesség következtében – az egész folyamatot irreálisan felgyorsítottuk. Ennek következtében a 4. ábra inkább a *fajok*, mint az egyedek leszármazási vonalára emlékeztet, de az alapelv ugyanaz.

A program írásakor még nem reméltem, hogy néhány fához hasonló alakzatnál többet kapok ezen „evolúció” során. Arra számítottam, hogy fűzfákat, libanoni cédrusokat, lombardiai nyárfákat, hínáralakzatokat, esetleg szarvasagancsokat látok. Biológusi ösztöneim, húszéves számítógé-pes programozási tapasztalataim és legvadabb álmaim sem jelezték előre azt, ami valójában megjelent a képernyőn. Már nem emlékszem pontosan, mikor kezdett derengeni bennem, hogy a képernyőn egy rovarra emlékezte-tő alakzat bontakozik ki. Merész feltevéssel ezután nemzedékről nemzedék-re azokat az alakzatokat tenyésztettem tovább, amelyek leginkább emlékez-tettek egy rovarra. Hitetlenségem a kibontakozó hasonlósággal együtt nőtt. A végeredményt a 4. ábra alján láthatjuk. Igaz, ennek pókhoz hasonló nyolc lába van (a rovaroknak csupán hat), de mégis! Képtelen vagyok magamba rejteni, micsoda örömet éreztem, amikor első ízben pillantottam meg, amint szemem láttára bontakoznak ki ezek a különleges teremtmények. Lelkem-ben tisztán hallottam az És imígyen szóla Zarathustra (2001. Ürodisszeia téma) diadalmas nyitó akkordjait. Egyetlen falatot sem tudtam lenyelni, s azon az éjszakán az én rovarjaim zümmögtek lehunytt szemhéjam mögött, miközben megpróbáltam elaludni.

Az üzletekben olyan számítógépes játékok kaphatók, amelyeknél a játé-kosnak az az illúziója, hogy meghatározott, bár bonyolult terepű föld alatti labirintusban jár, ahol sárkányokkal, minotauruszokkal és egyéb mitikus ellenfelekkel találkozik. Ezekben a játékokban tulajdonképpen kevés számú szörnyet találunk; ezeket mind emberi programozó tervezte, éppúgy mint a labirintus terepét. Az evolúciós játékban (a számítógépes változatban éppúgy, mint az „igaziban”) a játékos (vagy a megfigyelő) ugyanazt az érzést éli át, hogy átvitt értelemben elágazó folyosók labirintusán halad keresztül, itt azonban a lehetséges útvonalak száma lényegében végtelen, a szörnyek

pedig, amelyekkel találkozunk, nincsenek előre megtervezve és nem is lehet megjósolni őket. Biomorfország vizein vándorolva légies rákokkal, azték templomokkal, színes gót üvegablakokkal, kengurukat ábrázoló bennszülötttrajzokkal és egy emlékeztető (bár megismételhetetlen) alkalommal a wykehami logikaprofesszor elfogadható karikatúrájával találkoztam. Az 5. ábrán is bemutatom trófeáim válogatott kollekcióját, amelyek mindegyike ugyanígy alakult ki. Szeretném hangsúlyozni, hogy ezek az alakok nem művészek elképzelései nyomán születtek, senki nem retusálta vagy kozmetikázta őket. Olyanok, amilyenek a számítógép megrajzolta körvonalaikat, amikor a program során kifejlődtek. Az emberi szem szerepe a kiválasztásra korlátozódik, a halmozódó evolúció sok-sok nemzedéke során, a véletlenszerűen mutált ivadékok között.

Most már az evolúció sokkal élethűbb modellje áll rendelkezésünkre, mint a Shakespeare-t gépelő majom, de a biomorfmodell még mindig hiányos: megmutatja ugyan a halmozódó szelekció azon képességét, hogy a kvázi biológiai formák szinte végtelen változatosságát tudja létrehozni, ám a természetes szelekció helyett mesterséges kiválasztással dolgozik. Ez utóbbit az emberi szem végzi el. Hogyan iktathatnánk ki az emberi szemet, hogyan vehetnénk rá a számítógépet, hogy valamilyen biológiailag megalapozott ismerv alapján ő maga végezze el a kiválasztást? Ez nehezebb, mint amilyennek látszik, s érdemes kis időt szentelni ennek kifejtésére.

Szinte nevetségesen egyszerű valamilyen génképletet kiválasztani, ha le tudjuk olvasni valamennyi állat génjeit. A természetes szelekció azonban nem közvetlenül a géneket, hanem azokat a *hatásokat* választja ki, amelyeket a gének gyakorolnak a testekre; a szakzsargon ezeket fenotípusos hatásoknak nevezi. Az emberi szem igen alkalmas a fenotípusos hatások kiválasztására: jól mutatják ezt a különböző kitenyészített kutya-, szarvasmarha- és galambfajták, de ha szabad megjegyezmem, bizonyíték erre az itt látható 5. ábra is. Ha azt akarnánk, hogy a számítógép közvetlenül válassza ki a fenotípusos hatásokat, ehhez igen bonyolult alakfelismerő programot kellene írni. Ilyen programok csakugyan léteznek, segítségükkel nyomtatott, sőt kézírásos szövegeket is elolvashatunk. Ám ezek igen bonyolult, „világszínvonalú” programok, amelyekhez rendkívül nagy és gyors működésű számítógépekre van szükség. Én akkor sem bajlódnék ilyen programokkal, ha nem haladná meg saját programozói képességeimet és kicsi, 64 kilobyte-os számítógépem teljesítőképességét. Olyan feladat ez, amelyet helyesebb az emberi szemre és (talán ez a lényeg) a koponyánkban levő 10 giganeuronos számítógépre bízni.

Meglehetősen könnyen utasíthatjuk a számítógépet, hogy homályos, általános jellemvonások alapján válogasson (például hosszú-vékony vagy rövid-testes alak, esetleg görbület, tüskés alakzat, sőt rokokó díszek alapján). Egyik ilyen módszer az lehetne, hogy a számítógépet beprogramozzuk: emlékezzék azon minőségi jellemzőkre, amelyeket korábban az emberek előnyben részesítettek, s a továbbiakban újra és újra ezeket válassza ki. Ezzel



fecskefarkú
lepke



kalapos férfi



holdkomp



analitikai mérleg



tegzeslégy



skorpió



hurokjáték



levelibéka



vadászrepülő



szablyák



méhvirág



kagylós lábasfejű



rovar



róka



lámpa



ugrópók



denevér

5. ábra

azonban nem jutunk közelebb a természetes szelekció utánzásához. Itt az a lényeg, hogy a kiválasztáshoz a természetnek nincs szüksége számítástechnikai képességekre (kivéve bizonyos különleges eseteket, például, amikor a pávatyúk kiválasztja a pávakakast). A természetben általában a közvetlen, kíméletlen és egyszerű kiválasztó működik: a Kérlelhetetlen Kaszás. A túlélés okai természetesen távolról sem egyszerűek: ezért képes a természetes szelekció olyan félelmetesen bonyolult állatokat és növényeket létrehozni. Van azonban valami nyers egyszerűség magával a halállal kapcsolatban, a nem véletlenszerű halál pedig elegendő a fenotípusok (a bennük levő gének) kiválasztására természetes körülmények között.

Ha számunkra érdekes módon utánózni akarjuk a természetes szelekciót a számítógépben, akkor el kell felejtenünk a rokokó díszeket és a többi, ránézés alapján megállapított minőségi jegyeket. Fordítsuk inkább figyelmünket a nem véletlenszerű halál utánzására. A számítógépben a biomorfok ellenséges környezetet szimuláló helyzetekkel lépjenek kölcsönhatásba. Alakjuknak kell legyen olyan jellemzője, amely eldönti, életben maradnak-e vagy elpusztulnak abban a környezetben. Ideális körülmények között ez az

ellenséges környezet más, fejlődő biomorfokat is tartalmaz: ilyenek a ragadozók, a zsákmányállatok, az élősdiek és a vetélytársak. A zsákmánybiomorf alakja determinálja, hogy az illetőt könnyen elkaphatják például meghatározott alakú ragadozó biomorfok. A sebezhetőség ilyen ismérveit azonban ne a programozó építse be a gépbe, hanem ezek *önmaguktól alakuljanak ki* ugyanúgy, ahogy maguk az alakzatok is fejlődnek. Így csakugyan megindulna az evolúció a számítógépben, mert a körülmények lehetővé tennék az önmagát erősítő „fegyverkezési versenyt” (lásd a 7. fejezetet). Jómagam nem is merek arra gondolni, hová vezetne mindez. Sajnos, úgy érzem, meghaladná programozói képességeimet a feladat, hogy ilyen képzelt világot hozzak létre.

Ha valaki alkalmas arra, akkor az illető bizonyára azon programozók egyike, akik a zajos és vulgáris játéktérmi játékokat dolgozzák ki, a Földet megtámadó űrlények utódait. Ezekben a programokban egy képzelt világot szimulálnak, amely saját tereppel (gyakran háromdimenziós tereppel) és gyorsan múló idődimenzióval rendelkezik. Különböző lények röpködnek ebben a háromdimenziós térben, összeütköznek egymással, lelövik és felfalják egymást iszonyatos zajok közepette. Ez a szimuláció adott esetben olyan sikeres lehet, hogy a vezérlőgombot kezelő játékosnak határozottan olyan érzése támad, mintha ő maga is része volna ennek a kulisszavilágnak. El tudom képzelni, hogy az ilyen programozás csúcsteljesítménye azokban a szimulációs kamrákban jelentkezik, ahol a repülőgépek és az űrhajók pilótáit képezik ki. Még ezek a programok is gyerekjátéknak tűnnek ahhoz a programhoz képest, amelynek feladata az volna, hogy utánozza a teljes konstruált ökoszisztémába ágyazott fegyverkezési hajszát, amely a ragadozók és zsákmányállataik között bontakozik ki. Minden bizonnyal lehetne írni ilyen programot. Ha olvasóim között akad olyan hivatásos programozó, aki szívesen együttműködne a feladat megoldásában, örömmel várom jelentkezését.

Közben valami könnyebb dolgot is megemlítek, amelyet majd nyáron szeretnék kipróbálni. Elhatároztam, hogy a számítógépet a kert egy árnyékos helyén állítom fel, ahol jól látszanak a képernyő színei. Már ki is dolgoztam a program olyan változatát, amely valamivel több „génnel” a színeket is szabályozza ahhoz hasonlóan, ahogy a többi gén meghatározza az ábra alakját. Kezdetben többé-kevésbé tömör, élénk színű biomorfot rajzolok a képernyőre. A számítógép azonnal megjeleníti ennek mutáns ivadékait, amelyek alakban, illetve színmintában különböznek tőle. Azt remélem, hogy az arra járó méhek, lepkék és más rovarok úgy „választanak” a különböző színek közül, hogy meghatározott helyen nekirepülnek a képernyőnek. Néhány ilyen választás feljegyzése után a számítógép letörli a képernyőt, továbbtenyésztí a kiválasztott biomorfot, majd a képernyőn megjelenik a mutáns utódok következő nemzedéke.

Erősen remélem, hogy sok nemzedék után maguk a szabadban röpködő rovarok indítják majd el a virágok evolúcióját a számítógépben. Ha ez

bekövetkezik, akkor a számítógép virágai pontosan ugyanazon kiválasztási feltételek között fejlődnek, mint a szabadban tenyésztő igazi virágok. Ezt a reményemet az a tény ösztönzi, hogy színes női ruhákon (és ennél módszere-sebb, már nyilvánosságra hozott kísérletek során is) szívesen megtelepednek a rovarok. Egy másik, szerintem még izgalmasabb lehetőség, hogy a szabadon élő rovarok esetleg elindítják rovarszerű alakzatok evolúcióját. Ennek előzménye, s ez ad alapot a reménykedésre, hogy annak idején a méhek indították el a méhorchideák evolúcióját. A halmozódó orchideaevolúció számos nemzedéke során a virágokkal párosodni akaró, s ezáltal a virágport hordozó hím méhek alakították ki ezen virágok méhre emlékeztető alakját. Képzeljük el színesben az 5. ábrán látható „méhvirágot”. Hát nem tetszene nekünk, ha méhek volnánk?

Ám mégis pesszimista vagyok, mert a rovarok teljesen másként látnak, mint mi, a videoképernyők pedig nem a méhek, hanem az emberek szeméhez készültek. Könnyen lehet, hogy – bár a magunk módján mi emberek, de a méhek is „méhszerűnek” látjuk a méhorchideákat – a méhek egyáltalán nem értékeli a videoképernyőn megjelenő képeket. Meglehet, hogy a képernyőn a méhek csupán 625 képfelbontó sort látnak! Mégis érdemes megpróbálni. Mire ez a könyv megjelenik, már tudom majd a választ.

Egy népszerű közhely szerint a számítógépből csak azt tudjuk kihozni, amit bele is tettünk. Ugyanennek más változata így hangzik: a számítógépek pontosan azt teszik, amire utasítjuk őket, s így soha nem képesek alkotó tevékenységre. Ez a közhely a szónak csupán megdöbbenően triviális értelmében igaz; mintha azt állítanánk, hogy Shakespeare egész életében csupán azt írta, amire tanítója annak idején megtanította: szavakat. Betápláltam ugyan egy Evolúciót a számítógépbe, de nem terveztem meg a később megjelenő rovarokat, skorpiót, vadászgépet vagy a holdkompot. Sejtelmem sem volt arról, hogy ezek egyszer felbukkannak: ezért helyes itt felbukkánásról beszélni. Igaz, az evolúciót irányító kiválasztást a szemem végezte, de minden egyes fázisban csupán a véletlenszerű mutáció által felkínált csekély számú ivadékból választhattam; szelekciós stratégiám ebben a formájában megalkuvó, szeszélyes és rövidlátó volt. A természetes kiválasztódáshoz hasonlóan én sem törekedtem valamely távoli cél elérésére.

Talán közelebb hozhatom ezt az olvasóhoz, ha elmesélem azt az egyetlen esetet, amikor csakugyan távoli célt tűztem ki magam elé. Mindenekelőtt egy vallomással kell kezdenem, bár az olvasó ezt az eddigiekből bizonyára kitalálta. A 4. ábrán látható evolúciós történet nem az eredeti. Nem ekkor láttam először rovarjaimat a képernyőn. Amikor a harsonák dicsőséges zúgása közben először bukkantak fel, nem tudtam regisztrálni génjeiket. Ott csücsültek a képernyőn és mégis elérhetetlenek voltak. Egy ideig nem kapcsoltam ki a számítógépet, s közben azon törtem a fejem, hogyan lehetne megmenteni őket, de semmi nem jutott eszembe. Génjeik, a való élethez hasonlóan, túlságosan mélyen rejtőztek. A rovarok testét tudtam nyomtatott képeken ábrázolni, génjeiket azonban elvesztettem. Azonnal módosított-

tam a programot, hogy azután tárolja a génképleteket is későbbi lehívás céljából.

Ezután kezdődött a hajsza, hogy újra megtaláljam a rovarokat. Egyszer már felszínre hozta őket az evolúció, s úgy tűnt, azt meg lehet ismételni. Úgy kísértettek, mint az elveszett dallamok. Összevissza barangoltam Biomorfországban, különös lényekkel és dolgokkal teli végtelen tájakon vándoroltam, rovarjaimat azonban nem tudtam megtalálni. Bizonyos voltam benne, hogy valahol ott rejtőznek. Emlékeztem azokra a génekre, amelyekből az első evolúció kiindult. Birtokomban volt a rovarok képe, sőt a pontszerű őstől a rovarjaimig vezető lassú evolúciós láncolat képét is megőriztem, de nem ismertem a génképletet.

Téved az olvasó, ha azt hiszi, hogy viszonylag könnyű volt újra felépíteni ezt az evolúciós ösvényt. Ennek oka, amelyre még visszatérek, a *lehetséges* biomorfok hihetetlenül nagy száma, amelyek előfordulnak egy viszonylag hosszú evolúciós ösvény mentén még akkor is, ha csupán 9 változó génnel van dolgunk. Miközben Biomorfországban bolyongtam, többször úgy tűnt, hogy már egészen közel van rovarjaim valamelyik előfutára; azután az evolúció hamisnak bizonyult ösvényen haladt tovább, szelektáló tényezőként tett minden erőfeszitésem ellenére. Végül sikerült újra sarokba szorítanom őket; a diadal érzése alig volt kisebb, mint az első alkalommal. Nem tudtam (s ma sem tudom), vajon ezek a rovarok pontosan ugyanazok-e, mint az eredetiek voltak vagy csupán a felszínen konvergáltak (lásd a következő fejezetet); nekem ez is elég volt. Ezúttal nem hibáztam, pontosan felírtam a génképletet, s ma már tetszés szerint hozhatok létre rovarokat ezen a módon.

Elismerem, hogy egy kicsit rájátszom erre az izgalomra, de fontos dolgot szeretnék ezzel kapcsolatban kifejtetni. A lényeg az, hogy jöllehet én programoztam be a számítógépet, én közöltem vele részletesen a teendőket, mégsem én terveztem meg a kifejlődött állatokat, s a legnagyobb mértékben meglepett, amikor előfutárjaikat először pillantottam meg a képernyőn. Annyira meghaladta lehetőségeimet az evolúció befolyásolása, hogy akkor is majdnem kivihetetlennek bizonyult ez, amikor nagyon szerettem volna a konkrét evolúciós ösvényt rekonstruálni. Alig hiszem, hogy valaha is megtaláltam volna rovarjaimat, ha nem állt volna rendelkezésemre evolúciós előfutárai *teljes sorozatának* képe; a munka még így is nehéz és unalmas volt. Vajon ellentmondásnak tűnik-e a programozónak az a tehetetlensége, hogy szabályozza vagy előre jelezze a számítógépen végbemenő evolúció menetét? Azt jelenti-e mindez, hogy a számítógépben valami rejtélyes, esetleg misztikus dolog történik? Természetesen nem. Ugyanígy nincs semmi misztikus a valódi állatok és növények evolúciójában. A számítógépes modell segítségével feloldhatjuk ezt az ellentmondást, s közben új ismereteket szerezhetünk a valódi evolúcióról is.

Már előre megemlítem, hogy ezt a paradoxont a következő módon oldjuk majd fel. Meghatározott biomorfhalmazról van szó, amelynek minden egyes

tagja egy matematikai tér számára kizárólagosan kijelölt helyén tartózkodik. Úgy értem ezt, hogy csupán akkor tudjuk azonnal megtalálni, ha ismerjük génképletét. Ezen túlmenően ebben a különleges térben a szomszédok olyan biomorfok, amelyek csupán egyetlen gén tekintetében különböznek egymástól. Most, hogy ismerem rovarjaim génképletét, tetszés szerint reprodukálhatom őket, és arra is utasíthatom a számítógépet, hogy ebben az irányban játszódjon le a fejlődés a tetszés szerinti kiindulási ponttól. Amikor mesterséges kiválasztás útján először fejlesztünk ki új lényt a számítógépes modellben, az ember a teremtés folyamatában érzi magát, s ez így is van. Valójában azonban *megtaláljuk* a szóban forgó lényt, mivel az (matematikai értelemben) már ott van saját helyén Biomorfország genetikai terében. Mégis valóban alkotó folyamat ez, mivel rendkívül nehéz megtalálni egy konkrét lényt: ennek egyszerűen és tisztán az az oka, hogy Biomorfország óriási, s lényegében végtelen számú teremtmény lakik ott. Nem lehet csak úgy találmányra elkezdeni a kutatást: valamilyen hatékonyabb, alkotó jellegű módszerre van szükség.

Sokan ragaszkodnak ahhoz a hiedelemhez, hogy a sakkozó számítógépek úgy működnek, hogy kipróbálják a lehetséges lépések összes kombinációját. Ez vigasztalja őket, ha a számítógép győz, bár ez a hiedelem téves. Túlságosan nagy a számításba vehető lépések száma: olyan teret kellene átkutatni, amely sok milliárdszor nagyobb annál, semhogy a vaktában való keresgélés célhoz vezetne. Éppen abban áll a jó sakkprogram megírásának művészete, hogy kitaláljuk, ebben a térben hol húzódnak a „rövid utak”. A halmozódó kiválasztás – akár a számítógépes modellnél a mesterséges kiválasztás, akár a való életben a természetes szelekció – igen hatékony kutatási módszer, s következményei az alkotó értelem művére emlékeztetnek. Tulajdonképpen erre épült William Paley tervezőelmélete is. Technikai értelemben, amikor a számítógépes biomorfjátékot játszunk, lényegében arról van szó, hogy megtaláljuk azokat az állatokat, amelyek matematikai értelemben éppen arra várnak, hogy rájuk bukkanjunk. Olyan érzés ez, mint a művészi alkotás folyamata. Általában nem érezzük alkotásnak, ha olyan kis teret kutatunk át, ahol kevés lény lakik. A Keresd a gyűszűt nevű gyermekjátékot nem érezzük alkotó jellegűnek. Ha az átfésülendő tér kicsi, általában célravezető, ha vaktában felforgatjuk a dolgokat abban a reményben, hogy véletlenül rábukkanunk a keresett tárgyra. Amint azonban az átkutatandó tér növekszik, egyre bonyolultabb kutatási módszerekre van szükség. Ha ez a tér elég nagy, akkor a hatékony kutatási módszerek a gyakorlatban már nem különböztethetők meg a valódi alkotótevékenységtől.

A számítógépes biomorfmodellek jól kidomborítják itt a lényegét: tanulságos hidat alkotnak az alkotó emberi folyamatok (például nyerő sakk-stratégia kidolgozása) és a természetes szelekció, a vak óraműves evolúciós alkotóképessége között. Ahhoz, hogy ezt megértsük, matematikai térnek kell felfognunk Biomorfországot: a morfológiai változatosság végtelen, de rendezett tájképének, amelyben minden egyes teremtmény a neki megfelelő

helyen tartózkodik arra várva, hogy felfedezzék. Az 5. ábrán látható 17 teremtményt nem rendeztem el különlegesen, Biomorfországban azonban mindegyik a saját génképlete által meghatározott, egyedül rá jellemző helyen tartózkodott, saját meghatározott szomszédai által körülvéve. Biomorfország minden lakója meghatározott térbeli viszonyban áll a többiekkel. Mit jelent ez, hogyan értelmezhetjük a „térbeli helyzet” fogalmát?

Itt genetikai értelemben vett térről beszélünk, amelyben minden egyes állatnak megvan a saját, kizárólagos helyzete. A genetikai térben a közeli szomszédok azok az állatok, amelyek egyetlen mutációban különböznek egymástól. A 3. ábra közepén a kiinduló faalakzatot a genetikai térben levő 18 közvetlen szomszédja közül 8 veszi körül. Egy állat 18 szomszédja az a 18 különböző fajtájú utód, amelyet létrehozhat, s az a 18 különböző fajtájú szülő, amelytől származhatott volna, számítógépes modellünk adott szabályai mellett. Egy lépéssel arrébb minden egyes állatnak 324 (18×18 , az egyszerűség kedvéért figyelmen kívül hagyva a visszafelé mutató mutációt) szomszédja van; ez a halmaz tartalmazza lehetséges unokáit, nagyszüleit, nagynénjeit és unokatestvéreit. Újabb lépéssel arrébb minden állatnak 5832 ($18 \times 18 \times 18$) szomszédja van: a lehetséges dédunokák, dédszülők, első unokatestvérek stb. halmaza.

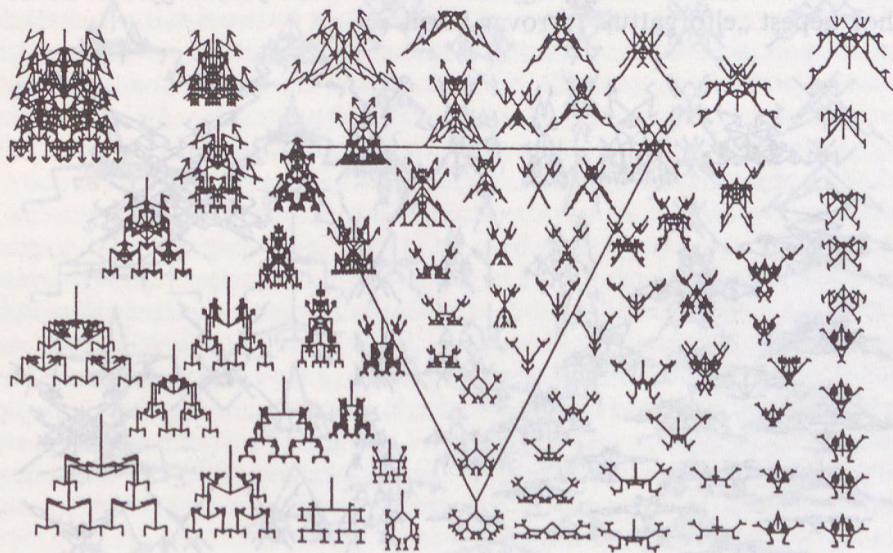
Mire jó az, ha a genetikai térben gondolkodunk, hová vezet az bennünket? A válasz: segít megértenünk, hogy az evolúció fokozatos, halmozódó folyamat. A számítógépes modell szabályai szerint bármelyik generációban csupán egyetlen lépést tehetünk a genetikai térben. 29 nemzedék során tehát legfeljebb 29 lépéssel távolodhatunk el a genetikai térben a kezdeti őstől. Minden evolúciós történet a genetikai téren átvezető meghatározott ösvényből vagy pályából áll. A 4. ábrán látható fejlődéstörténet például eléggé kanyarog a genetikai térben a kezdeti ponttól egy rovarig, s közben 28 közbülső fázison halad át. Arra gondolok, amit átvitt értelemben Biomorfországon keresztül-kasul való vándorlásnak nevezek.

Megpróbáltam képen ábrázolni ezt a genetikai teret, ám a képek csupán kétdimenziósak. Ezzel szemben az a genetikai tér, amelyben a biomorfok élnek, nem kétdimenziós, de nem is háromdimenziós, hanem kilencdimenziós tér! (Nagyon fontos ezzel kapcsolatban, hogy az olvasó ne féljen a matematikától. Ez a tudomány nem olyan bonyolult, mint papjai némelykor állítják. Valahányszor félelmet érek magamban, Silvanus Thompson sommás megállapítására gondolok: „Amire az egyik tőkfej képes, képes arra a másik is”.) Ha 9 dimenzióban tudnánk rajzolni, akkor a 9 gén mindegyikéhez egy-egy dimenziót rendelhetnénk. Egy adott állat, például a skorpió vagy a denevér, esetleg a rovar helyzetét a genetikai térben meghatározza 9 génjének számszerű értéke. Az evolúciós változás azt jelenti, hogy lépésről lépésre végighaladunk ezen a kilencdimenziós téren. Két állat közötti *genetikai különbség* mértéke (s így az evolúcióhoz szükséges idő, továbbá ennek bonyolultsága) úgy mérhető, mint a két állat közötti *távolság* ebben a kilencdimenziós térben.

Sajnos nem tudunk kilencdimenziós rajzokat készíteni. Megpróbáltam valahogyan áthidalni ezt a nehézséget olyan kétdimenziós ábra segítségével, amely némiképpen érzékelteti, mit jelent Biomorfország kilencdimenziós genetikai terében egy pontról egy másikra lépni. Ezt többféleképpen megvalósíthatjuk; én a háromszög fogásnak nevezett módszert választottam. Nézzük meg a 6. ábrát. A háromszög sarkain három önkényesen kiválasztott biomorfot találunk. A csúcson levő a kiinduló faalakzat, a bal sarokban levő egyike az általam „kifejlesztett” rovaroknak. A jobb sarkon levőnek pedig nincs neve, bár szerintem igen jól mutat. A többi biomorfhoz hasonlóan ezek mindegyikének megvan a saját génképlete, amely meghatározza kizárólagos helyzetét a kilencdimenziós genetikai térben.

Ez a háromszög lapos, kétdimenziós „síkon” fekszik, amely mintegy behatol a kilencdimenziós hipertérbe. (Figyelem! Amire az egyik tökfaj képes, képes arra a másik is!) Olyan ez a tér, mint kocsonyás anyagba merülő lapos üvegdarab. Erre rajzoljuk a háromszöget, s néhány olyan biomorfot, amelyek génképlete feljogosítja őket arra, hogy ezen a meghatározott, lapos síkon helyezkedjenek el. Miről van itt szó? Ezen a ponton válik jelentőssé a háromszög sarkaiban levő három biomorf szerepe. Ezeket „horgonybiomorfoknak” nevezem.

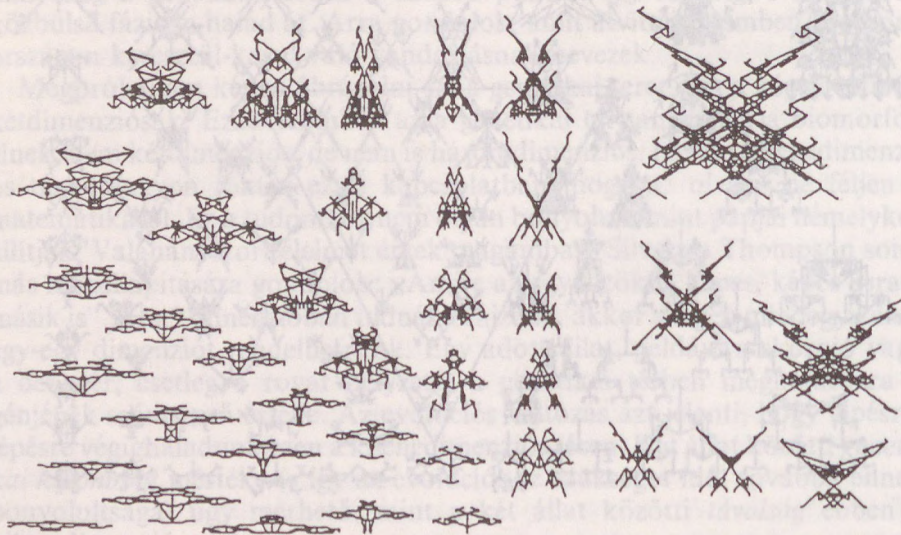
Ne feledjük: a genetikai térben mért távolságok lényegében azt jelentik, hogy a genetikailag hasonló biomorfok közvetlen szomszédok, a genetikailag különbözők pedig távoli szomszédok. Ezen adott síkon az összes távolságot a három horgonybiomorfhoz viszonyítva számítjuk. Az üveglapon levő bármely adott pont esetében (a háromszögön belül vagy azon kívül) a



6. ábra

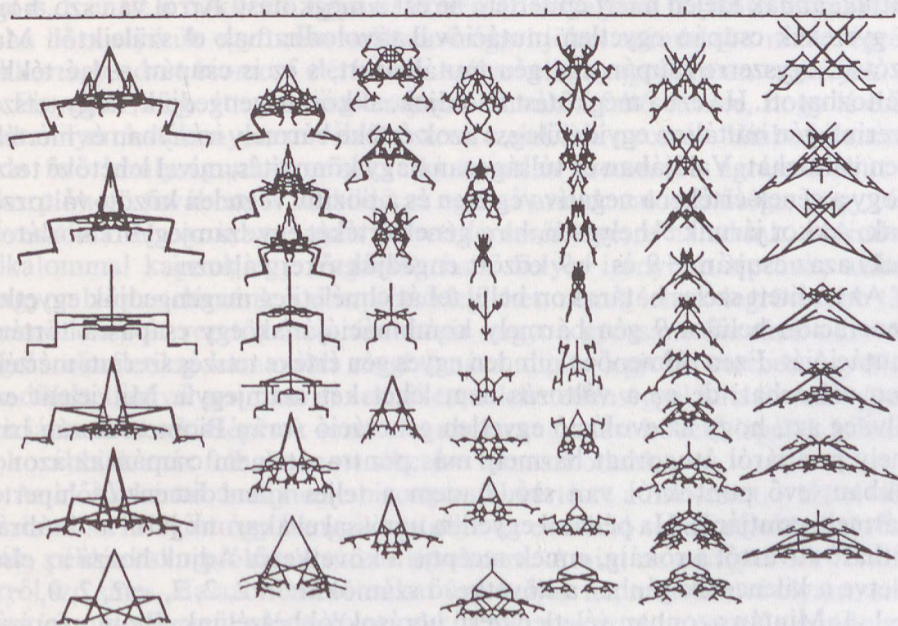
megfelelő génképletet úgy számítjuk ki, mint a három horgonybiomorf génképletének súlyozott átlagértékét. Az eddigiekből talán már sejti az olvasó, mit jelent ez a súlyozás: a lapon mért távolságokat, pontosabban a közelségeket vesszük figyelembe a három horgonybiomorf és a szóban forgó pont között. Minél közelebb vagyunk tehát a rovarhoz, az ott levő biomorfok annál inkább emlékeztetnek a rovarokra. Ha az üvegen a fa felé haladunk, a „rovarok” fokozatosan elveszítik rovarszerű alakjukat, s egyre inkább a fához hasonlítanak. Ha elérjük a háromszög középpontját, az ott levő állatok (például a zsidók hétágú gyertyatartóját a fején hordozó pók) a három horgonybiomorf különböző „genetikai kompromisszumait” testesítik meg.

Ebben a beszámolóban azonban túlságosan hangsúlyozzuk a három horgonybiomorf jelentőségét. Igaz, a számítógép csakugyan ezek segítségével számította ki a képen látható valamennyi lény megfelelő génképletét, valójában azonban a síkon elhelyezkedő bármely három fix pont ugyanígy megfelelt volna; segítségükkel ugyanezeket az eredményeket kaptuk volna. A 7. ábrán nem rajzoltam be a háromszöget. Ez az ábra jellegét tekintve ugyanolyan, mint a 6. ábra, csupán egy másik síkot ábrázol. A három fix pont egyike ugyanaz a rovar, ezúttal a jobb szélső. Esetünkben a másik két horgonypont a vadászgép és a méhvirág, amint az 5. ábrán láttuk őket. Ezen a síkon is megfigyelhetjük, hogy az egymáshoz közel elhelyezkedő biomorfok jobban hasonlítanak egymásra, mint a távoliak. A vadászgép például alakzatban repülő hasonló gépek kötelékének része. Miután a rovar mindkét üveglapon megtalálható, úgy is felfoghatjuk a dolgot, hogy a két lap bizonyos értelemben áthatol egymáson. Elmondhatjuk, hogy a 7. ábrát a 6-hoz képest „elforgattuk” a rovar körül.



7. ábra

A háromszög kiiktatása annyiban tökéletesíti módszerünket, hogy figyelmünket a lényegre tereli. Az előzőekben túlságosan kihangsúlyoztuk a síkban elhelyezkedő három pont jelentőségét. Ám további tökéletesítésre van szükség. A 6. és a 7. ábrán a térbeli távolság genetikai távolságot jelent, de a *méretarányok* el vannak torzítva. Függőleges irányban 1 cm nem feltétlenül azonos a vízszintes irányban mért 1 cm-rel. Ezt úgy korrigálhatjuk, hogy gondosan választjuk ki a három horgonybiomorfot: egymástól mért genetikai távolságuknak teljesen azonosnak kell lennie. A 8. ábrán ezt láthatjuk, de a háromszöget most sem rajzoltuk be. A három referenciaalakzat az 5. ábrából átvett skorpió, ismét a rovar (újabb „elforgatást” hajtottunk végre a rovar körül) és a fent elhelyezkedő, eléggé felismerhetetlen alakú biomorf. Ezek mindhárman 30 mutációs lépésre vannak egymástól, s ez azt jelenti, hogy bármelyikük egyforma könnyűséggel fejlődhetett ki a másiktól. Mindhárom esetben legalább 30 genetikai lépésre van szükség. A 8. ábra alján az apró vonások a távolságot jelzik génekben. Ezt egyfajta genetikai mércének tekinthetjük, amely azonban nem csupán vízszintes irányban használható. Bármely irányban lefektethetjük, s így lemérhetjük bármely két pont között a genetikai távolságot, azaz a legrövidebb evolúciós időt. (Sajnos, a mi konkrét esetünkben ez nem egészen így van, mivel a számítógéphez csatlakoztatott nyomtató eltorzítja az arányokat. Ez azonban olyan csekély mértékű, hogy nem érdemes törődni vele, bár kétségkívül nem egészen pontos eredményt kapunk, ha egyszerűen megszámloljuk a skálán az osztásközöket.)



8. ábra

A kilencdimenziós genetikai téren áthatoló említett kétdimenziós síkok némiképp érzékeltetik, mit jelent a vándorlás Biomorfországban. Ezt az érzést tovább fokozhatjuk, ha emlékezetünkbe idézzük, hogy az evolúció nem korlátozódik egyetlen síkra. Igazi evolúciós sétánkon bármikor „átugorhatunk” egy másik síkra, például a 6. ábrán látható síkról a 7. ábrára (a rovar közelében, ahol a két sík majdnem találkozik).

Említettem, hogy a 8. ábra genetikai mércéjével kiszámíthatjuk azt a legrövidebb időt, amely a két pont közötti evolúcióhoz szükséges. Ez így igaz, az eredeti modell megszorításai mellett, de a hangsúly a *legrövidebb* jelzőn van. Miután a rovar és a skorpió közötti genetikai távolság 30 egység, csupán 30 nemzedékre volna szükség ahhoz, hogy eljussunk egyiktől a másikig – *ha mindig a helyes irányban lépünk*. Más szóval, ha pontosan tudjuk, milyen génképlet felé tartunk, és merre vegyük utunkat. A valódi evolúció során nem találkozunk ilyen „iránytűvel”, amely a távoli genetikai cél felé vezetne bennünket.

Térjünk most vissza a biomorfok segítségével ahhoz a példához, amelyben a majmok próbálják megírni a Hamletet. Itt a fokozatos, lépésről lépésre megvalósuló evolúciós változások jelentőségéről van szó, a pusztán véletlen-nel szemben. Kezdjük azzal, hogy új mértékegységekre osztjuk be a 8. ábrán látható mércét. A távolságot most nem az evolúció során módosulandó gének számában, hanem annak valószínűségében mérjük, hogy pusztán szerencsével egyetlen ugrással hidalguk át a távolságot. Ehhez enyhítenünk kell az általam számítógépes játékba beépített egyik megköötésen: a végén meglátjuk, annak idején miért építettem be ezt a megköötést. Arról van szó, hogy a gyerekek csupán egyetlen mutációval távolodhatnak el szüleiktől. Más szóval, egyszerre csupán egy gén mutálhatott, s ez is csupán ± 1 értékkel változhatott. Ha ezt a megköötést feloldjuk, akkor megengedjük, hogy tetszés szerinti gén mutáljon egyidejűleg, s azok értéke bármely irányban és mértékben változhat. Valójában ez túlságosan nagy könnyítés, mivel lehetővé teszi, hogy a gének értékei a negatív végtelen és a pozitív végtelen között változzanak. Akkor járunk el helyesen, ha a gének értékét egy számjegyre korlátozzuk, azaz csupán -9 és $+9$ között engedjük őket változni.

Az említett széles határokon belül tehát elméletileg megengedjük egyetlen generáción belül a 9 gén bármely kombinációjának egy csapásra történő mutációját. Ezen túlmenően minden egyes gén értéke tetszés szerinti mértékben változhat, de ez a változás nem lehet két számjegyű. Mit jelent ez? Elvileg azt, hogy az evolúció egyetlen generáció során Biomorfország bármely pontjáról átugorhat bármely más pontra. Itt nem csupán az azonos síkban levő pontokról van szó, hanem a teljes kilencdimenziós hipertér bármely pontjáról. Ha például egyetlen ugrással el akarunk jutni az 5. ábrán látható rovartól a rókáig, ennek receptje a következő. Adjuk hozzá az első, illetve a kilencedik génhez a következő számokat: $-2, 2, 2, -2, 2, 0, -4, -1, 1$. Miután azonban véletlenszerű ugrásokról beszélünk, Biomorfország összes pontja egyforma valószínűséggel jöhet számításba ezen ugrások bár-

melyikének végpontjaként. Könnyen kiszámíthatjuk tehát, pusztá szerencsével, mennyi az esélye annak, hogy egy *adott végponthoz* (például a rókához) eljutunk. Nem kevesebbéről van szó, mint a térben levő összes biomorf számáról. Látható, ismét a már említett csillagászati nagyságrendű számokba ütközünk. Kilenc génünk van, s ezek mindegyike 19 érték bármelyikét felveheti, így az egyetlen lépéssel ugrásszerűen elérhető biomorfok teljes száma 19 szorozva önmagával 9-szer egymásután, azaz 19 a kilencedik hatványon. Ez körülbelül fél billió biomorfot jelent. Igaz, ez semmiség Asimov hemoglobinszámahoz képest, de még mindig meglehetősen nagy szám. Ha a rovartól elindulva eszeveszett bolhaként fél billió ugrást tenénk, akkor számíthatnánk arra, hogy egyszer eljutunk a rókához.

Mit tudunk meg ebből a valódi evolúcióról? A tanulság: ismét a *fokozatos*, lépésről lépésre történő változások a fontosak. Az evolúció egyes hívei tagadták (és tagadják), hogy az ilyen jellegű fokozatosság szükséges az evolúcióhoz. A biomorfokkal kapcsolatos számításaink egzakt módon mutatják, miért jelentős ez a fokozatos, lépésről lépésre végbemenő változás. Amikor azt mondom, hogy az evolúció a rovarról várhatólag átugrik valamelyik közvetlen szomszédjára, de *nem* ugrik át közvetlenül a rókára vagy a skorpióra, ezen a következőket értem. Ha valóban véletlenszerű ugrások történnének, akkor tökéletesen lehetséges volna egyetlen ugrással eljutni a rovartól a skorpióhoz. Sőt ennek valószínűsége ugyanaz volna, mint átugrani a rovarról valamelyik közvetlen szomszédjára, ám akkor ez a valószínűség megegyezne a Biomorfország bármely tagjára való átugrás valószínűségével is. S ez itt a bökkenő, ugyanis ebben az országban fél billió biomorf él, s ha bármelyikük egyforma valószínűséggel jöhet számításba mint végcél, akkor egy adott biomorf elérésének esélyei elhanyagolhatóan csekélyek.

Figyeljük meg: itt nem segít rajtunk annak a feltételezése, hogy létezik valamilyen hatékony, nem véletlenszerű szelekciós nyomás. Hiába ígérnénk oda fele királyságunkat annak, aki egyetlen szerencsés ugrással eljut a skorpióhoz: továbbra is fél billió az egyhez annak valószínűsége, hogy célt tévesztünk. Ha azonban ugrás helyett lépésről lépésre haladunk, s minden alkalommal kapunk egy rézgarast, ha a helyes irányban léptünk, akkor nagyon hamar elérnénk a skorpiót. Meglehet, nem a lehető legrövidebb (30 nemzedéken át vezető) úton, ám mégis nagyon gyorsan eljutnánk oda. Az ugrás elméletileg hamarabb meghozná a díjat: legjobb esetben egyetlen lendülettel, mivel azonban ennek sikere a lehetetlenséggel határos, az egyetlen járható út a kis lépések sorozata, ahol az egymást követő lépések mindig a korábbiak már felhalmozott sikerére támaszkodnak.

Az előbb leírtak hangneme bizonyos félreértésre adhat okot, s ezt el kell oszlatnom. Megint úgy hangzik, mintha az evolúció távoli célokkal törődne, például skorpiókat kívánna létrehozni. Amint az eddigiekből láttuk, erről szó sincs. Ha azonban célunkat úgy fogjuk fel, mint bármi olyant, ami *javítja az életben maradás esélyeit*, akkor már van értelme ennek a gondolatmenetnek. Ha az állat utódokat hoz létre, akkor legalább annyira életképes-

nek kell lennie, hogy megérje a felnőttkort. Meglehet, ennek a szülőnek egyik mutáns gyermeke még alkalmasabb az életben maradásra. Ha azonban ez a mutáció túlságosan „jól sikerül”, vagyis az utód nagyon messzire került szülőjétől a genetikai térben, mi az esélye annak, hogy különb lett szülőjénél? Ennek az esélyei csakugyan nagyon csekélyek, mégpedig azon oknál fogva, amelyet éppen tárgyaltunk biomorfmodellünkkel kapcsolatban. Ha a figyelembe vett mutációs ugrás nagyon nagy, akkor csupán csillagászati számokkal tudjuk kifejezni ezen ugrás lehetséges végcéljainak számát. Mivel pedig, amint az 1. fejezetben láttuk, sokkal többféleképpen halunk meg, mint ahogy életben maradhatunk, nagy a valószínűsége annak, hogy a genetikai térben tett „ugrás a sötétbe” halállal végződik. Még az ilyen jellegű kis ugrásnak is elég nagy valószínűséggel halál a vége, ám minél kisebb az ugrás, annál inkább csökken a pusztulás esélye, s annál valószínűbb, hogy az ugrás az élőlény tökéletesedéséhez vezet. Egy későbbi fejezetben még visszatérünk erre a témára.

Körülbelül ennyi tanulságot kívántam levonni Biomorfország tapasztalataiból. Remélem, az olvasó nem találta túlságosan elvontnak. Van egy másik matematikai tér is, amelyet nem kilencgénes biomorfok, hanem sejtek milliárdjaiból álló hús-vér állatok népesítenek be, amelyek mindegyik sejtje több tízezer gént tartalmaz. Ez már valódi genetikai tér, nem a biomorfok világa. Azok az állatok, amelyek eddig éltek (és ma is élnek) Földünkön, elenyésző töredékét alkotják azon elméleti állatoknak, amelyek *élhettek* volna. Ezek a hús-vér állatok a genetikai téren átvezető igen csekély számú evolúciós pálya termékei. Ezen elméleti útvonalak túlnyomó többsége életképtelen szörnyekhez vezet. A valódi állatok itt-ott felbukkannak ezen elméleti szörnyek körül, amelyek mindegyike saját, kizárólagos helyén található ebben a genetikai hipertérben. Minden egyes valódi állatot szomszédai kicsiny halmaza vesz körül, amelyek többsége sohasem létezett, néhányan közülük azonban a szóban forgó állat ősei, utódai és unokatestvérei.

Ebben az óriási matematikai térben találjuk az embereket és a hiénákat, az amőbákat és a laposférgeket, a tintahalakat és a dinoszauruszokat. Elméletben, ha elég jártasak vagyunk a géntechnikában vagy a génsebészetben, akkor tetszés szerint mozoghatunk ebben az állati térben. Egy adott kiindulási ponttól elindulva úgy vándorolhatunk ebben a labirintusban, hogy újra megteremtjük a tirannoszauruszt és a trilobitákat – persze csak akkor, ha tudjuk, mely géneket manipuláljuk, a kromoszóma mely parányait szaporítsuk, fordítsuk meg vagy töröljük. Kétlem, hogy valaha is képesek leszünk erre, ám ezek a régen halott lények ott várnak reánk örökké ebben az óriási genetikai hipertérben, várva arra, hogy *rájuk bukkanjunk*, ha megszereztük azt a tudást, amelynek segítségével eljuthatunk hozzájuk ebben a labirintusban. Talán még arra is képesek lehetünk, hogy kifejlesszük a dodónak, ennek a rég kihalt óriás galambfajnak pontos mását a ma élő galambok szelektív továbbtenyésztése útján, jöllehet a kísérlet sikeres befejezéséig talán egy millió évet is kellene élnünk. Ám ha a valóságban nem is

tehetjük meg erre az utat, jól pótolja ezt a képzelet. A hozzám hasonló emberek számára, akik nem matematikusok, a számítógép a képzelőerő hatalmas segítője lehet. A matematikához hasonlóan nem csupán felajzza képzeletünket, hanem fegyelmezi és kordában is tartja.

4. FEJEZET

Ösvények az állati térben

Amint a 2. fejezetben láttuk, sokan alig tudják elhinni, hogy olyan bonyolult és jól felépített szerv, mint például a szem (Paley kedvenc példája), a maga számtalan egymásba kapcsolódó alkotórészeivel fokozatos, lépésről lépésre történő változások során szinte a semmiből fejlődhetett ki. Vizsgáljuk meg újra ezt a kérdést, immár azon új felismerések fényében, amelyeket a biomorfok segítségével szereztünk. Válaszoljunk a következő két kérdésre.

1. Kialakulhatott-e az emberi szem egyetlen lépésben a semmiből?
2. Kialakulhatott-e az emberi szem olyan előzményből, amely alig különbözik tőle (s amelyet X-nek nevezhetünk)?

Az első kérdésre egyértelmű nemmel felelünk. Az igenlő válasz esélyei olyan csekélyek, hogy az azt kifejező törtszám nevezője sok milliárdszorosa a világmindenségben található atomok számának. Iszonyatosan nagy, a lehetetlenséggel határos ugrásra volna szükség a genetikai hipertérben. A második kérdésre ugyanilyen egyértelmű igen a válasz, amennyiben eléggé kicsi a különbség a jelenlegi szem és közvetlen elődje között, más szóval, ha a két képződmény elég közel helyezkedik el egymáshoz az összes lehetséges struktúrát tartalmazó térben. Ha bármely különbség esetén a második kérdésre tagadó a válasz, akkor csupán az a dolgunk, hogy egyre csökkenő különbségek mellett újra és újra feltegyük ezt a kérdést. Folytassuk ezt mindaddig, amíg a különbség eléggé kicsi lesz ahhoz, hogy a második kérdésre igennel válaszoljunk.

Az X-et az emberi szemhez nagyon hasonló képződményként *határozzuk meg*; olyannyira hasonlóként, hogy abból szemünk könnyen kialakulhatott az X egyetlen módosulása révén. Ha képzeletünkben kialakítottuk X-et, és úgy találjuk, hogy ebből a szemünk aligha fejlődhetett ki egyetlen lépéssel, ez csupán annyit jelent, hogy rosszul választottuk meg az X-et. Gondolatban közelítsük az X-ről alkotott képünket egyre jobban az emberi szemhez, míg végül úgy véljük, hogy ez már csakugyan megfelel célunknak: lehetett volna az emberi szem közvetlen elődje. Egészen bizonyos, hogy találunk ilyen „előképet” még akkor is, ha rendkívül óvatosak vagyunk ennek meghatározásában!

Miután találtunk olyan X-et, amelyre vonatkozólag igennel felelhetünk a második kérdésre, tegyük fel ugyanezt a kérdést X-szel kapcsolatban is. Az említett gondolatmenet alapján el kell jussunk ahhoz a következtetéshez,

hogy X közvetlenül egyetlen változás útján kialakulhatott valami másból, amelyet X'-nek nevezhetünk. Nyilvánvaló, hogy X'-t szintén visszavezethetjük valami másra, amely alig különbözik tőle, s amelyet X''-nek nevezünk és így tovább. Ha az X-ek elegendően hosszú sorát állítjuk fel, akkor eljuthatunk egy olyan kezdethez, amely nem csekély, hanem éppenséggel hatalmas mértékben különbözik szemünktől. Jelentős távolságot tehetünk meg az „állati térben”, s ez a haladásunk teljesen elfogadható lesz, amennyiben eléggé aprókat lépünk. Most már válaszolhatunk egy harmadik kérdésre is:

3. Folyamatos átmenetek során visszavezethetjük-e mai szemünket egy lényegében szem nélküli állapotig?

Számomra egyértelműnek tűnik, hogy a válasz igen, amennyiben az X-ek *elegendően hosszú* sorozatát választjuk. 1000 X-et már jó soknak érezhetünk, de ha a teljes átmenet még több lépés során tűnik elfogadhatónak, akkor tételezzünk fel 10 000 X-et, s ha ez sem elég, vegyünk 100 000 X-et a sorozatnak és így tovább. A rendelkezésre álló idő nyilván határt szab ennek a játéknak, ugyanis minden nemzedékben csupán egyetlen X lehet. A gyakorlatban tehát a kérdésünk így vetődik fel: volt-e elegendő idő a megfelelő számú, egymást követő nemzedék kialakulásához? Nem tudjuk pontosan megadni, hány nemzedékre volna szükség, de azt tudjuk, hogy a geológiai idő iszonyúan hosszú. Csupán annak érzékeltetésére, hogy milyen nagyságrendekről van szó, megemlítem: a bennünket legkorábbi őseinktől elválasztó nemzedékek számát minden bizonnyal milliárdokban fejezhetjük csak ki. Ha mondjuk 100 millió X volt, akkor már felépíthetjük a parányi változások olyan elfogadható sorát, amely összekapcsolja az emberi szemet lényegében a semmivel!

Az eddigiekben többé-kevésbé elvont okoskodással arra a következtetésre jutottunk, hogy létezik az egyenként egymáshoz eléggé hasonló, elképzelhető X-ek sorozata, amelyekről feltehető, hogy egymásba alakulhattak, s így összekapcsolják az emberi szemet egy olyan állapottal, amely szemnek már egyáltalán nem nevezhető. Még nem bizonyítottuk be azonban, hogy ez a sor csakugyan létezett. Két további kérdésre kell válaszolnunk, íme az egyik.

4. Figyelembe véve a feltételezett X-ek olyan sorának minden egyes tagját, amely összeköti az emberi szemet a lényegében szem nélküli állapottal, feltételezhető-e, hogy ezek mindegyike az elődök véletlenszerű mutációja révén alakult ki?

Ez a kérdés valójában nem a genetikát, hanem az embriológiát illeti, és tulajdonképpen semmi köze ahhoz, amely annyira aggasztja a birminghami püspököt és másokat. A mutáció úgy jön létre, hogy megváltoznak az embrionális fejlődés létező folyamatai. Könnyen belátható, hogy az embrionális folyamatok bizonyos formái könnyen módosulhatnak meghatározott irányokban, de alig változhatnak más vonatkozásokban. Erre a kérdésre még visszatérek a 11. fejezetben, s itt csupán újra szeretném hangsúlyozni a kis és a nagy változás közötti különbséget. Minél kisebb változást feltétele-

zünk, minél kisebb a különbség az X'' és az X' között, annál könnyebben elképzelhető, hogy az embrionális szakaszban mutáció következik be. Az előző fejezetben pusztán statisztikai alapon már bebizonyítottuk, hogy bármely adott, nagymérvű mutáció lényegénél fogva kevésbé valószínű, mint valamely konkrét, csekély mutáció. Bármilyen probléma merül is fel a 4. kérdés kapcsán, azt mindenesetre beláthatjuk, hogy minél kisebbnek tételezzük fel az adott X' és X'' közötti különbséget, a probléma annál kisebb lesz. Érzésem szerint a kívánt mutációk szinte törvényszerűen bekövetkeznek, amennyiben *elegendően csekély* a különbség a szomszédos átmeneti alakzatok között abban a sorban, amely mai szemünkhöz vezet. Végső fokon mindig a meglevő embrionális folyamat csekély mennyiségi változásairól beszélünk. Ne feledjük, bármilyen bonyolult is az adott nemzedékben az embrionális „status quo”, igen csekély és egyszerű lehet az abban bekövetkező mutációs változás.

Végül már csupán egy kérdésre keressük a választ.

5. Figyelembe véve az X -ek azon sorozatának minden egyes tagját, amely az emberi szemet a lényegében szem nélküli állapottal köti össze, feltételezhető-e, hogy ezek mindegyike elég hatásosan működött, s így hozzájárult a szóban forgó állatok életben maradásához és szaporodásához?

Különös módon egyesek úgy gondolják, hogy erre a kérdésre a válasz egyértelmű nem. Idézek például Francis Hitchingnek 1982-ben megjelent könyvéből (*The Neck of the Giraffe or Where Darwin Went Wrong**). Lényegében szó szerint ugyanezt idézhettem volna Jehova tanúinak bármelyik röpiratából is, mégis ezt a könyvet választottam, mivel jó nevű kiadó (Pan Books Ltd.) döntött megjelentetése mellett, jóllehet igen sok hibát fedezhetett volna fel benne bármelyik munka nélküli biológus vagy akár egyetemi hallgató, ha felkérlik, hogy fussa át a kéziratot. (Kedvenc tévedéseim e könyvben, ha megengedik nekem ezt a kis kajánkodást, John Maynard Smith professzornak lovaggá minősítése, és Ernst Mayr professzornak – a matematikai genetika ékesszóló és igencsak nem matematikus ősbíráójának – a matematikai genetika főpapja jelzővel illetése.)

„Ahhoz, hogy a szem működni tudjon, a következő, tökéletesen összehangolt lépésekre van szükség (sok más egyidejű eseménynek is be kell következni, de még ez a durván leegyszerűsített leírás is elegendő ahhoz, hogy felhívja a figyelmet a darwini elmélet problémáira). A szem tiszta és nedves legyen, amiről a könnymirigy és a mozgó szemhéjak együttes működése gondoskodik. Az utóbbin a szempillák egyúttal a napsugarak elleni kezdetleges szűrőként is szolgálnak. A fény ezután áthatol a külső védőbevonat (a szaruhártya) kicsiny, átlátszó részén, további útja a lencsén vezet keresztül, amely a fényt a retina hátsó falán gyűjti össze. Az itt elhelyezkedő 130 millió fényérzékeny pálcikában és csapban fotokémiai reakciók mennek végbe, amelyek a fényt elektromos impulzusokká alakítják át, s ezek közül másodper-

* A zsiráf nyaka, avagy hol hibázott Darwin

cenként körülbelül 1000 milliót továbbít a szem (ennek módját pontosan nem ismerjük) az agyba, amely megteszi a szükséges intézkedést.

Az teljesen nyilvánvaló, hogy ha menet közben a legcsekélyebb hiba történik – ha a szaruhártya homályos, a pupilla nem tágul ki, a lencse nem tiszta vagy hiba történik a fény összegyűjtésében, akkor nem alakul ki felismerhető kép. A szem vagy a maga teljességében működik, vagy egyáltalában nem. Hogyan fejlődhetett volna ki tehát lassú, egymást követő, végtelenül parányi darwini tökéletesedéslépcsők folyamán? Csakugyan elfogadható-e, hogy szerencsés mutációk ezrei történtek egyidejűleg, s így szinkronban kialakult a lencse és a retina, amelyek nem működhetnek egymás nélkül? Mert milyen életben maradási értéke lehet az olyan szemnek, amely nem lát?”

Gyakran halljuk ezt a figyelemre méltó érvelést, talán azért, mert az emberek el akarják hinni az ebből fakadó következtetést. Vizsgáljuk meg azt az állítást, hogy „ha a legcsekélyebb hiba történik..., ha a fény összegyűjtése nem sikerül... nem alakul ki felismerhető kép”. Aligha tévedek, ha ötvenszázalékos valószínűséggel megjósolom, hogy a kedves olvasó szemüveget visel. Kérem, vegye le és nézzen körül. Egyetért-e azzal, hogy „nem alakul ki felismerhető kép”? Ha ön férfi, akkor körülbelül nyolcszázalékos annak valószínűsége, hogy színvak, s esetleg asztigmatizmusa is van. Egyáltalán nem lehetetlen, hogy szemüveg nélkül meglehetősen homályosan lát. Korunk egyik legkiválóbb (bár lovaggá még nem ütött) evolúcióteoretikusa olyan ritkán tisztítja szemüvegét, hogy valószínűleg mindenképpen homályosan lát, a jelek szerint azonban elég jól elboldogul, és saját bevallása szerint időnként alantas módon beleveti magát „félszemmél” a tolongásba. Ha ön elveszíti szemüvegét, talán magára haragítja barátait, mert nem ismeri meg őket az utcán, de mégis alighanem megsértődne, ha valaki így szólna önhöz: „Mivel az ön látása így nem tökéletes, legjobban tenné, ha csukott szemmel járna, amíg elő nem kerül a szemüvege.” Az általam idézett passzus szerzője mégis lényegében ezt ajánlja.

Azt is megállapítja (mintha ez magától értetődő volna), hogy a lencse és a retina külön-külön nem működőképes. Vajon honnan veszi ezt? Egyik közeli hozzátartozóm szemét nemrég szürke hályog miatt megoperálták, így egyáltalán nincs szemlencséje. Igaz, szemüveg nélkül nem tudna teniszezni vagy puskával célba löni. Mégis, határozottan kijelentette nekem, hogy a lencse nélküli szem még mindig sokkal többet ér, mintha egyáltalán nincs szemünk, hiszen séta közben észreveszi, ha fal áll az útjába vagy másik ember közeledik stb. Ha vadon élő állatok lennénk, lencse nélküli szemünket még mindig jól felhasználhatnánk arra, hogy észrevegyük a közeledő ragadozó körvonalait, s az irányt, ahonnan felénk tart. Abban a kezdetleges világban, amelyben egyes lényeknek egyáltalán nem volt szeme, mások pedig lencse nélküli szemmel rendelkeztek, ez utóbbiak egész sor előnyre tehettek szert. S itt van az X-ek folytonos sora, amelyben a képesség minden egyes parányi javulása (az elmosódó körvonalaktól a tökéletes emberi látásig) feltétlenül növeli az organizmusok életben maradási esélyeit.

A könyv a továbbiakban Stephen Jay Gouldot, az ismert harvardi paleontológust idézi:

„Azzal kerüljük el ama kiváló kérdést, hogy ‚Mire jó az 5 százalékos szem?’, ha feltesszük: az ilyen kezdetleges szervet tulajdonosa nem látásra használta.”

Meglehet, az az őskori állat, 5 százalékos szemét csakugyan nem látásra használta, én azonban legalábbis valószínűnek tartom, hogy ez a szem 5 százalékos értékű látást tett lehetővé. S valójában nem is tartom olyan kitűnőnek az említett kérdést. Azt a látást, amely az ön vagy az én látásomhoz képest ötszázalékos értékű, nyugodtan összehasonlíthatjuk a látás teljes hiányával. Ennek megfelelően az ötszázalékos látás jobb, mint a teljes vakság; a hatszázalékos jobb, mint az ötszázalékos, a hétszázalékos többet ér, mint a hat, s így tovább felfelé ezen a folytonos soron.

Ez a fajta probléma azon szakemberek némelyikét is aggasztotta, akik azokkal az állatokkal foglalkoznak, amelyek mimikri révén menekülnek a ragadozóktól. A botsáska például tökéletesen utánozza az ágat vagy a gallyat, s így nem fálják fel a madarak. A levélsáskák a levelekhez hasonlítanak. Számos ehető lepkefajt az véd meg, hogy undorító vagy mérges fajra hasonlít. Az ilyen hasonlóság sokkal kifejezettebb, mint amikor a felhők menyétre hasonlítanak. Sok esetben nagyobb ez a hasonlóság, mint az én rovarjaim és a valódi rovarok közötti. Végül is ez utóbbiaknak nem nyolc, hanem hat lába van! Az igazi természetes kiválasztás legalább milliószor annyi nemzedék útján tökéletesítette a hasonlóságot, mint ahánnyal én dolgoztam.

Nem azért nevezzük az ilyen eseteket mimikrinek, mivel úgy véljük, hogy az állatok tudatosan utánoznak más dolgokat; arról van szó, hogy a természetes szelekció azokat az egyedeket részesítette előnyben, amelyek testét ellenségeik összetévesztették valami mással. Másként kifejezve, a botsáskák azon ősei, amelyek nem hasonlítottak ágacskára vagy gallyra, utódok nélkül pusztultak el. Richard Goldschmidt, német származású amerikai genetikus, a legkiválóbb azok között, akik szerint a természetes szelekció aligha kedvezett az ilyen hasonlóságok kezdeti kifejlődésének. Amint Gould, Goldschmidt egyik csodálója, az ürülékutánzó rovarokról megjegyezte: „Vajon mi előny származik abból, ha az állat öt százalékgig hasonlít az ürülékre?” Jórészt Gould hatására újabban divatba jött arról beszélni, hogy Goldschmidtet életében nem becsülték méltóképpen, s valójában igen sokat tanulhatunk tőle. A következőkben bemutatom egyik jellemző gondolatmenetét:

„Ford... olyan mutációról beszél, amely véletlenül távoli hasonlóságot mutat valamely védettebb fajra, s ebből, ha csekély is, némi előny származhat. Fel kell tennünk a kérdést: milyen távoli legyen ez a hasonlóság ahhoz, hogy szelekciós értéke legyen? Feltételezhetjük-e, hogy a madarak, a majmok, sőt a sáskák is olyan nagyszemű megfigyelők (vagy legalábbis akadnak közöttük ilyenek), hogy a távoli hasonlóságot is észreveszik, és az ilyen állatot messzire elkerülik? Szerintem ez a feltételezés túlságosan messzire megy.”

Aligha illik az effajta gúnyolódás ahhoz a tudóshoz, aki Goldschmidthez hasonlóan ilyen ingoványos talajra lép. *Csodálatos* megfigyelő? Mintha bárki azt hinné, hogy a madaraknak és a majmoknak származott előnyük abból, hogy megtévesztette őket a távoli hasonlóság! Goldschmidtnek inkább így kellett volna fogalmazni: „Feltételezhetjük-e, hogy a madarak stb. olyan rossz megfigyelők (illetve némelyikük olyan ostoba)?” Ennek ellenére itt valódi dilemma rejlik. A botsáska őse eleinte csakugyan nagyon távolról hasonlíthatott egy gallyra. Nagyon rossz szeműnek kellett lennie annak a madárnak, amelyet így be lehetett csapni. Ezzel szemben a ma élő botsáska fantasztikusan hasonlít egy ágacskára, az álrügyekig és a levélerezetig bezárólag. Azok a madarak, amelyek szelektív zsákmányoló gyakorlata feltette a koronát erre a fejlődésre, legalábbis egészségben véve kiválóan láttak. Minden bizonnyal nagyon nehéz lehetett őket becsapni, mert különben a rovarokban nem fejlődött volna ki ez a ma látható tökéletes mimikri: megrekedtek volna valahol félúton. Hogyan oldhatjuk fel ezt a látszólagos ellentmondást?

Az egyik válasz szerint a madarak látása tökéletesedett ugyanazon evolúciós időszak folyamán, amikor a rovarok mimikrije kialakult. Meglehet, az az ősi rovar, amely csupán 5%-ig hasonlított az ürülékre, becsapta az ősmadarat, amelynek csak 5%-os értékű volt a látása. Én azonban nem ilyen választ szeretnék adni az előbbi kérdésre. Valójában azt gyanítom, hogy a teljes evolúció (a távoli hasonlóságtól a szinte tökéletes utánzásig) viszonylag gyorsan és sok alkalommal végbement a különböző rovaroknál, miközben a madarak látása lényegében ugyanolyan jó volt, mint ma.

Egy másik válasz a következőképpen próbálja feloldani ezt a dilemmát. Meglehet, minden egyes madár- vagy majomfaj rosszul lát, s a rovarnak csupán egyetlen, korlátozott jellemvonása alapján csap le. Lehet, hogy az egyik ragadozófaj csupán a színt, egy másik csak a formát, megint másik csak a felület szerkezetét veszi észre, és így tovább. Ha így van, akkor az a rovar, amely csupán egyetlen vonatkozásban hasonlít az ágacskára, csupán egy ragadozófajt csap be, míg az összes többi felfalja őt. Amint az evolúció előrehalad, a rovarok repertoárja egyre gazdagodik, egyre több vonatkozásban hasonlítanak például egy ágra. Végso fokon ezt a tökéletes mimikrit a sok különböző ragadozófaj által kiváltott, összegeződő természetes kiválasztódás hozza létre. Csak mi látjuk a mimikrit a maga tökéletes teljességében, a ragadozók külön-külön nem érzékelik azt.

Ez arra utal, mintha csupán mi volnánk elég „okosak” ahhoz, hogy teljes dicsőségében felfogjuk a mimikrit. Nekem ez a magyarázat sem tetszik, még akkor sem, ha eltekintek az emberi hiúság ebben rejlő megnyilatkozásától. Szerintem bármilyen jól lát is a ragadozó bizonyos körülmények között, más helyzetekben az a látás igencsak meggyengülhet. Könnyen beláthatjuk ezt, ha saját tapasztalatainkra gondolunk, amelyek a rendkívül rossz látástól a kiváló látásig terjednek. Ha én húsz centiméterről nézem a botsáskát erős napfényben, akkor nem tévesztem össze semmi mással; észreveszem a teste

mellett megbúvó hosszú lábakat, s talán feltűnik természetellenes szimmetriája is, amellyel valódi ágak esetében nem találkozunk. Ha azonban ugyanezzel a szemmel és agyvelővel alkonyatkor járok az erdőben, könnyen megeshet, hogy egyáltalán nem tudom megkülönböztetni a sötét színű rovarokat a szanaszét heverő gallyaktól. A rovar képe esetleg a retinám szélén jelenik meg, elkerülve az élesebb látású központi területet. Meglehet, hogy a rovar 40 méterre van tőlem, s így retinámon csupán parányi képet hoz létre. Az is lehet, hogy a gyenge fényben már szinte nem látok semmit.

Valójában nem az a lényeg, milyen távoli, milyen gyenge a hasonlóság a rovar és az ág között; mindenképpen lennie kell *olyan* félhomálynak vagy a szemtől mért *olyan* távolságnak, vagy a ragadozó figyelemcsökkenésének, amelynél még a távoli hasonlóság is megtéveszti a jó szemet. Ha ezt nem találjuk elég meggyőzőnek néhány, általunk elképzelt konkrét esetben, képzeletünkben egyszerűen csökkentjük a fényt vagy távolodjunk el kissé a szóban forgó tárgytól! A lényeg az, hogy az ághoz vagy levélhez, esetleg ürülékcsomóhoz való igen távoli hasonlóság is megmenthette sok rovar életét, ha távol volt a ragadozótól, vagy ha a ragadozó félhomályban kereste zsákmányát, esetleg köd volt vagy figyelmét elterelte egy ivarzó nőstény. Ezenkívül igen sok rovar megmentett az a körülmény (talán éppen ugyanattól a ragadozótól), hogy megmagyarázhatatlan módon nagyon hasonlított egy ághoz; ez olyankor is megtörtént, amikor a ragadozó viszonylag közel volt hozzá, és a világosság is megfelelő volt. Amit fontos megjegyezni a fényerőről, a rovar és a ragadozó közötti távolságról, illetve a képnek a retina középpontjától való távolságáról és a hasonló adatokról, az az, hogy ezek mind *folytonos* változók: a teljes láthatatlanságtól a lehető legjobb láthatóságig észrevehetetlenül parányi fokozatokban változnak. Az ilyen folytonos változók hozzák létre a folyamatos és a fokozatos evolúciót.

Kiderül tehát, hogy valójában nem dilemma az, amely Richard Goldschmidtnek annyi fejtörést okozott, s amely több mással egyetemben oda vezetett, hogy tudósi életpályája túlnyomó részében azt a szélsőséges nézetet vallotta, hogy az evolúció nem kis lépésekkel, hanem nagy ugrásokkal halad. Mellesleg ismét bebizonyítottuk önmagunknak, hogy az ötszázalékos látás még mindig jobb, mint a látás teljes hiánya. Retinám szélén a látásom alighanem öt százaléknál is rosszabb a retina középpontjához képest, akár milyen szempontok alapján mérjük is ezt. Mégis, a szemem sarkából is észreveszem, ha teherautó vagy autóbusz közeledik. Miután naponta kerékpáron járok munkába, ez a tény alighanem az életemet menti meg. Észreveszem a különbséget olyankor is, ha esik, és kalapot viselek. Sötét éjszakában látásunk valószínűleg még öt százaléknál is kevesebbet ér nappali teljesítményéhez képest. Mégis számos ősröket alighanem megmentette, hogy az éjszaka sötétjében is észrevette azt, ami igazán fontos volt: mondjuk a kardfogú tigrist, esetleg egy közeli szakadékot.

Személyes tapasztalatból mindnyájan tudjuk, hogy például sötét éjszakákon észrevehetetlenül fokozatos átmenet van a teljes vakságtól a tökéletes

látásig, s hogy ezen fokozatok mindegyike jelentős előnyöket hordoz. Ha fokozatosan életlenre majd újra élesre állított látcsöveken át nézzük a tárgyakat, hamarosan meggyőződhetünk arról, hogy ez az élesre állítás fokozatosan történik, s minden egyes lépés egy kevéssel meghaladja az előzőt. Ha színes televízióink színszabályzó gombját lassan forgatjuk, meggyőződhetünk arról, hogy fokozatos átmenet van a fekete-fehértől a színek teljes kibontakozásáig. A szemünkben levő szivárványhártya, amely pupillánkat tágítja, illetve szűkíti, megakadályozza, hogy a túlságosan erős fény elvakítson bennünket, de lehetővé teszi, hogy félhomályban is lássunk. Mindnyájan tapasztaljuk, mit jelent a fényrekesz kiesése: ez történik, amikor elvakítja szemünket néhány pillanatra az országúton szembejövő autók reflektorja. Jóllehet ez kellemetlen, sőt veszélyes is lehet, mégsem jelenti azt, hogy szemünk ilyenkor egyáltalán nem működik. Kiderül tehát, hogy az az állítás, amely szerint „vagy működik egész szemünk, vagy egyáltalán nem működik”, nem csupán téves, hanem magától értetődően hamisnak bizonyul, ha valaki csupán néhány pillanatig elgondolkodik saját tapasztalatain.

Térjünk vissza az 5. kérdéshez. Ha az emberi szemet a szem nélküli állapottal összekötő X-ek sorának egyes tagjait megvizsgáljuk, mondhatjuk-e azt, hogy ezek mindegyike elég jól működött, így hozzájárult a szóban forgó állapot fennmaradásához és szaporodásához? Láttuk már, milyen naiv az az antievolúciós feltevés, amely szerint erre tagadólag kell felelni. Mondhatjuk-e tehát azt, hogy a válasz igen? Ez kevésbé nyilvánvaló, mégis úgy vélem, ez a helyes válasz. Nem csupán az nyilvánvaló, hogy a töredékes szem jobb, mint annak teljes hiánya. Elfogadható átmeneti sort találunk a ma élő állatok között is. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy ezek a ma élő átmeneti alakzatok csakugyan az ősi típusokat képviselik, megmutatja azonban, hogy ezek a „félkész konstrukciók” is működőképesek.

Az egysejtű állatok között egyesek fényérzékeny folttal rendelkeznek, amely mögött parányi, sötét ernyő helyezkedik el. Ez elzárja az egyik irányból jövő fény útját, s ez némi „fogalmat” ad az állatnak arról, honnan jön a világosság. A többsejtű állatok között a különböző férgekénél és egyes kagylóknál is hasonló megoldással találkozunk, de az említett sötét hátoldalú fényérzékeny sejtek parányi csészében vagy mélyedésben helyezkednek el, s ez már valamivel jobb irányérzékelést tesz lehetővé, mivel minden egyes sejt szelektív módon árnyékolódik le a saját oldaláról a mélyedésbe érkező fénysugaraktól. A fényérzékeny sejtek lapos lemezétől a csekély bemélyedésen át a mély csészéig terjedő sorban bármely apró (vagy nagyobb) lépés tökéletesedést jelent a látás szempontjából. Ha jó mély csészét készítünk, és oldalait kifordítjuk, akkor végül lencse nélküli camera obscurát kapunk. A lapos bemélyedéstől folyamatos az átmenet ehhez a kamerához (lásd például a 4. ábrán az evolúciós sor első hét nemzedékét).

Az ilyen kamera határozott képet ad; minél kisebb a nyílás, annál élesebb (de halványabb) a kép, és megfordítva: minél nagyobb a nyílás, annál

világosabb (de homályosabb) képet kapunk. A *Nautilus* nevű úszókaagyló, ez a különös, tintahalszerű lény, amely a régen kihalt ammonitákhoz és belemnitekhez hasonlóan kagylóhéjban tanyázik (lásd az 5. ábrán a „kagylós lábasfejű” alakzatot), egy pár ilyen camera obscurával rendelkezik, ezek pótolják a szemét. Ez a szem lényegében ugyanolyan alakú, mint a mienk, de nincs lencséje, a pupilla pedig egyszerű nyílás, amelyen át a tenger vize behatol a szem belső üregébe. A *Nautilus* valójában elég rejtélyes lény. Miért nem fedezte fel a lencseelvet azon több száz millió év során, amely eltelt azóta, hogy őseink kialakították ezt a kameraszemet? A lencse előnye, hogy éles és mégis fényes képet ad. A *Nautilusszal* kapcsolatban az a különös, hogy retinája olyan felépítésű, amelynek igen nagy előnye származna a lencséből. Olyan hi-fi berendezéshez hasonlít, amelynek kiváló minőségű erősítőjét kopott tűs gramofon működteti. Szinte kézzelfoghatóan tökéletesítené a rendszert ez a csekély módosítás. Úgy tűnik, ebben a genetikai hipertérben a *Nautilustól* kartávolságra van a nyilvánvaló és azonnali tökéletesedés, s mégsem teszi meg ezt a kis lépést. Mi ennek az oka? Aggasztja ez Michael Landet, a Sussexi Egyetem professzorát (számunkra a gerinctelenek szemének legjobb ismerőjét), s aggaszt engem is. Lehetséges, hogy a *Nautilus* embriói olyan módon fejlődnek, amely lehetetlenné teszi a szükséges mutáció kialakulását? Ezt nem akarom elhinni, de nincs jobb magyarázatom. A *Nautilus* mindenesetre meggyőzően mutatja, hogy a lencse nélküli szem még mindig jobb, mint a szem teljes hiánya.

Ha szemünk egy közönséges csésze alakú mélyedés, akkor ezt már szinte bármilyen többé-kevésbé domború, többé-kevésbé áttetsző vagy éppenséggel átlátszó anyag is tökéletesíti, ha a nyílás fölé kerül, mivel ennek már lencseszerű tulajdonságai vannak. Összegyűjti a fényt egész felületén, és a retina kisebb felületére vetíti. Ha ez a kezdetleges előlencse megjelenik, megindul a tökéletesedések folyamatos sorozata, amelynek során a lencse egyre vastagabb és átlátszóbb lesz, egyre kevésbé torzít, végül abban a képződményben tetőzik, amelyet mindnyájan valódi lencsének tartunk. A *Nautilus* rokonai, a tintahalak és a polipok valódi lencsével látnak, amely nagyon hasonlít az ember szeméhez, pedig őseik bizonyára tőlünk teljesen függetlenül fejlesztették ki ezt az egész kameraszem elvet. Michael Land egyébként úgy véli, hogy a képalkotásnak kilenc alapelve van, s hogy ezek többsége egymástól függetlenül többször kialakult az idők folyamán. A parabolatükör elve például alapvetően különbözik az emberi szem kamera típusú működési elvétől. (A parabolatükröket rádiótávcsöveknél s a legnagyobb optikai távcsöveknél használjuk, mivel nagy tükröt könnyebb készíteni, mint nagy lencsét.) Ezt az elvet egymástól függetlenül a puhatestűek és a rákfélék is „feltalálták”. Más rákfajoknak a rovarokéra emlékeztető összetett szemük van (ez valójában parányi szemek halmaza), míg más puhatestűek (amint korábban már láttuk) az emberi szemre emlékeztető kameraszemet vagy parányi nyílású kameraszemet fejlesztettek ki. Más, ma élő

állatok között is megtaláljuk azokat a fokozatokat, amelyek megfelelnek ezen evolúciós átmeneti alakzatoknak.

Az evolúcióellenes propaganda szélteben-hosszában terjeszti az olyan bonyolult rendszerek állítólagos példáit, amelyek aligha fejlődhettek volna ki az átmenetek különböző fokozatainak keresztül. Ez gyakran nem egyéb, mint a 2. fejezetben már említett emberi hitetlenségből táplálkozó érv meglehetősen patetikus esete. Miután megtárgyalta a szemet, közvetlen ezután a *Neck of the Giraffe* szerzője a puffogóbogár esetére tér rá, amely

„ellensége arcába hidrokínon és hidrogén-peroxid halálos keverékét lövelli. Ez a két anyag valósággal felrobban, ha egymással keveredik. A puffogóbogár tehát kémiai gátlóanyagot fejlesztett ki, hogy veszély nélkül tárolhassa ezeket testében. Abban a pillanatban, amikor a bogár farkánál kilövelli ezt a folyadékot, antigátlószert kever hozzá, így a keverék ismét robbanóképes. Az események azon láncolata, amely ilyen bonyolult, összehangolt és precíz folyamat evolúciójához vezetett volna, nem magyarázható a lépésről lépésre történő evolúció feltevésével. Ha az anyagok kémiai egyensúlya a legcsekélyebb mértékben felborul, máris felrobbant bogarak garmadával találkozoznánk.”

Egyik biokémikus kollégám volt szíves átadni nekem egy üveg hidrogén-peroxidot és annyi hidrokínont, amely 50 puffogóbogárnak is elég volna. Most összekeverem a két anyagot. Az iméntiek szerint robbanás várható itt az orrom előtt. Lássuk csak...

Nos, még élek. A hidrogén-peroxidot hozzáöntöttem a hidrokínonhoz, és az égvilágon semmi nem történt. Még csak fel sem melegedett a folyadék. Én persze tudtam ezt: nem vagyok olyan ostoba! Az az állítás, hogy „a két anyag valósággal felrobban, ha egymással keveredik”, egyszerűen hamis, jöllehet újra és újra találkozunk vele a teremtés gondolatát propagáló irodalomban. Ha valakit érdekel, annak elmondom, valójában mi történik a puffogóbogárral. Annyi mindenestre igaz, hogy lobogva forró folyadékot (hidrogén-peroxid és hidrokínon keverékét) lövell ellenségeire. Ám a hidrogén-peroxid és a hidrokínon csupán akkor lép heves reakcióba egymással, ha *katalizátort* adunk hozzá. Pontosan ezt teszi a puffogóbogár is. Ami pedig a rendszer evolúciós előnyeit illeti, testünk kémiája mind a hidrogén-peroxidot, mind a kinonok különböző fajtáit egyéb célokra is használja. A puffogóbogár ősei egyszerűen különböző működési anyagokat hoztak össze, amelyek már „kéznél voltak”. Gyakran így működik az evolúció.

Az említett könyv ugyanazon oldalán, ahol a puffogóbogárral foglalkozik, a következő kérdést találjuk: „Mi haszna volna ... fél tudónek? A természetes szelekció nyilván kiküszöbölné az ilyen teremtményeket, nem őrizné őket az utókor számára.” Egészséges, felnőtt embernél a két tüdőleány mindegyike körülbelül 300 millió parányi kamrából áll, amelyek végükön elágazó csövekkel alakultak ki. Ezen csövecskék felépítése az előző fejezetben bemutatott 2. ábra alján látható biomorfára emlékeztet. Azon a fán a „kilencedik gén” által meghatározott nyolc egymást követő elágazás van, az ágvégek száma pedig 2⁸, azaz 256. Amint lejjebb haladunk a 2. ábrán,

minden alkalommal megkettőződik az ágvégek száma. Mindössze 29 ilyen kétszerezésre volna szükség ahhoz, hogy 300 millió ágvéget kapjunk. Figyeljük meg, hogy az egyetlen kamrácskától folytonos sor vezet a 300 millióig, s ebben a sorban minden egyes lépés egy-egy kétirányú elágazást jelent. Ezt az átmenetet 29 elágazással érhetnénk el, amelyről naiv módon feltételezhetnénk, hogy 29 lépésből álló kellemes séta a genetikai térben.

Ezen elágazások miatt egy-egy lebenyen belül a tüdő felszíne több mint 50 m². A tüdőnél a felület igen fontos paraméter, ugyanis ez határozza meg, milyen gyorsan veszi fel a szervezet az oxigént, és milyen ütemesen bocsátja ki az elhasznált szén-dioxidot. A terület pedig folytonos változó, nem olyasmi, ami vagy van, vagy nincs. Lehet belőle kicsivel több vagy kicsivel kevesebb. A tüdő felszíne az átlagnál is alkalmasabb a fokozatos, lépésről lépésre történő változásra a 0 m²-től egészen az 50 m²-ig.

Sok olyan ember él, akinek kioperálták az egyik tüdejét, sőt egyesek a normál tüdőfelület csupán egyharmadával kénytelenek beérni. Talán még sétálnak is, bár nem sokat és nem gyorsan. Ez a lényeg. Ha a tüdő felülete *fokozatosan* csökken, ez nem olyan hatás, amely „dupla vagy semmi” módon befolyásolja az életben maradáást. Fokozatosan, szinte átmenet nélkül módosuló hatással, amely meghatározza, mennyit mozoghatunk és milyen gyorsan. Valóban, ez fokozatosan, szinte átmenet nélkül módosítja várható élettartamunkat. A halál nem váratlanul következik be meghatározott tüdőfelület-küszöb alatt! Amint a tüdő felülete optimális érték alá csökken, ennek valószínűsége fokozatosan növekszik. (S ugyanez történik, ha a tüdő felülete az említett optimális érték fölé nő, a salakanyagok kiürítésével kapcsolatos okok miatt.)

Azok az őseink, amelyeknél kialakult a tüdő, szinte biztosan vízben éltek. Nagyjából fogalmat alkothatunk magunknak lélegzésünkről, ha megnézzük a ma élő halakat. Ezek többsége kopolyúkkal lélegzik a vízben, de sok olyan faj van, amely piszkos, mocsaras vizekben él, s így kénytelen ezt kiegészíteni azzal, hogy feljön a víz színére és levegőt nyel. Ezek az állatok a szájukban levő belső kamrát kezdetleges prototüdőként használják, s ez az üreg egyes esetekben véredényekben gazdag légzőszákká terebélyesedik. Amint láttuk, minden nehézség nélkül elképzelhetjük az X-ek folytonos sorát, amely egyetlen ilyen légzőszáktól jelenlegi tüdőnk háromszázmillió légzőhólyagocskából álló rendszeréig terjed.

Érdekes módon számos ma élő hal megőrizte ezt az egyetlen légzőszákot, de egészen más célra használja. Bár valószínűleg tüdőnek indult, az evolúció során úszóhólyaggá fejlődött: ez a szellemes készülék lehetővé teszi, hogy a hal állandó egyensúlyban maradjon a vízben. A léghólyag nélküli állat rendszerint kissé nehezebb, mint a víz, s ezért lesüllyed a fenékre. Emiatt kénytelenek a cápák állandóan úszni, nehogy lesüllyedjenek. A nagy légszájú állatok, ilyen az ember is a maga nagyméretű tüdejével, lassan a víz felszínére emelkednek. A két véglet között a pontosan megfelelő méretű léghólyagos állat minden erőfeszítés nélkül, egyensúlyi helyzetben lebeg a

vízben. Ezt a „fogást” tökéletesítették a ma élő halak (a cápák kivételével). A cápáktól eltérően ezek nem pazarolnak energiát arra, hogy elkerüljék a süllyedést. Uszonyaik és farokúszóik az irányítás és a gyors előrehaladás céljára szabadulnak fel. Többé nincs szükségük külső levegőre ahhoz, hogy megtöltsék a hólyagot: különleges mirigyeik állítják elő a gázt. Ezen mirigyek és egyéb eszközök segítségével pontosan szabályozzák a hólyagban a gáz nyomását, s így megőrzik hidrodinamikai egyensúlyukat.

A ma élő halak számos faja el tudja hagyni a vizet. Egyik szélsőséges példájuk az indiai kűszösüger, amely szinte soha nem tartózkodik a vízben. Őseinktől nagymértékben különböző tüdőt fejlesztett ki: a kopoltyúkat övező légkamrát. A többi hal lényegében a vízben él, bár rövid időre elhagyhatja ezt a közeget. Valószínűleg ezt tették őseink is. A vízen kívüli tartózkodás időtartama is a nullától folyamatosan változhat. Az olyan hal számára, amely lényegében a vízben él és ott lélegzik, de amely néha a szárazföldre merészkedik (például azért, hogy átevickéljen egy másik pocsolýába, s így túlélje az aszályt), nem csupán a fél tüdő, hanem az egyszázalékos tüdő is hasznos lehet. Lényegtelen, milyen kicsi ez az őstüdő: bizonyos ideig ki lehet bírni ezzel a tüdővel a szárazföldi tartózkodást, s ez az idő valamivel hosszabb, mint amit tüdő nélkül bírának ki. Az idő is folytonos változó: nincs egyértelmű választóvonal a vízben lélegző és a levegőben lélegző állatok között. A különböző állatok idejük 99, 98, esetleg 97 százalékát töltik a szárazföldön, s ez egészen nulla százalékig csökkenhet. Ezen az úton a tüdő felületének bármely parányi növekedése is elég lehet. Mindvégig folyamatos változásról van szó.

Mi haszna van a fél szárnynak? Hogyan kezdett a szárny kialakulni? Sok olyan állat van, amely ágról ágra ugrál, némelykor a földre esik. Különösen kis testű állatoknál fordul elő, hogy a teljes testfelület felfogja a levegőt és segíti az ugrást vagy mérsékli a zuhanást; kezdetleges szárnyfelületként működik. Hasznos lehet itt minden olyan tendencia, amely megnöveli a testfelület és a tömeg arányát: ilyenek például az ízületeknél kinövő bőrlebenyek. Ebből folyamatos változás vezet a siklószárnyakhoz, majd tovább a csapkodó szárnyakig. Nyilván van *olyan távolság*, amelyet a legelső állatok a maguk protoszárnyaikkal nem tudtak áthidalni. Ugyanilyen nyilvánvaló, hogy az ősi levegőfelfogó felületek bármely csekély vagy kezdetleges mivoltában is volt olyan távolság (akármilyen rövid), amelyet a lebeny segítségével át lehetett hidalni, de a lebeny nélkül nem.

Ha viszont ezek a szárnylebenyek segítették az állat zuhanásának mérséklését, akkor nem mondhatjuk, hogy „bizonyos méret alatt a lebenyek teljesen haszontalanok”. Itt is lényegtelen, milyen kicsi volt az első szárnylebeny, s mennyire nem hasonlított a valódi szárnyra. Bizonynal létezik olyan magasság (nevezzük *h*-nak), amelyről leesve az állat kitörte a nyakát, de ha valamivel kisebb magasságról zuhant a földre, éppen életben maradt. Ebben a kritikus övezetben élet és halál különbségét jelentette a legcsekélyebb javulás is a testfelszín azon képességében, hogy felfogja a levegőt és mérsé-

kelje a zuhanás sebességét. A természetes szelekció ilyen esetben a csekély szárnylebenyek kezdeményeit részesíti előnyben. Amikor ezek a parányi szárnylebenyek általánossá válnak, valamelyest megnövekszik a kritikus *h* magasság. Most a szárnylebenyek újabb csekély növekedése választja el az életet a haláltól, és így tovább, egészen az igazi szárnyak kifejlődéséig.

Ma is élnek olyan állatok, amelyek szépen illusztrálják ezen folytonos sor egyes fokozatait. Egyes békák a lábujjaik közötti hártya segítségével siklanak a levegőben; a fakúszó sikló lapos teste fogja fel a levegőt; a gyíkok a testükön levő lebenyeket használják erre a célra. Számos emlős a végtagjai között kifeszített hártya segítségével siklik a levegőben (sejthetjük ebből, honnan indultak annak idején a denevérek). A teremtés gondolatát propagáló irodalommal ellentétben nem csupán „félszárnyú”, hanem negyedszárnyú, háromnegyedszárnyú stb. állatokkal is gyakran találkozunk. A repüléssel kapcsolatos folytonos sor gondolata még inkább meggyőző, ha arra gondolunk, hogy a nagyon kis testű állatok, alakjuktól függetlenül, könnyedén lebegnek a levegőben. Ez a példa azért is kiváló, mert végtelenül parányi átmenetek sora vezet a kicsinytől a nagyhoz.

Nagyon elgondolkodtató az a gondolat, hogy a parányi változások sok lépésben halmozódnak; ezzel az egyébként megmagyarázhatatlan dolgok óriási halmazát magyarázhatjuk meg. Hogyan alakult ki a kigyók mérge? Sok állat harap, s az állatok nyála olyan fehérjéket tartalmaz, amelyek sebbe kerülve allergiás reakciót válthatnak ki. Bizonyos emberekben fájdalmas reakciót válthat ki az ún. nem mérges kigyók harapása is. Parányi átmenetek sorozata vezet a közönséges nyáltól a halálos méregig.

Hogyan alakult ki a fül? Minden bőrdarab felfogja a rezgéseket, ha rezgő tárgyakkal érintkezik. Ez a tapintási érzék természetes folyamánya. A természetes szelekció könnyen fokozhatta volna fokozatos fejlődés révén ezt a képességet, míg végül ez olyan érzékennyé vált volna, hogy igen csekély rezgéseket is észlel érintkezés útján. Ekkor már természetesen elég érzékeny lett volna ahhoz is, hogy felfogja az elegendő hangerejű, a levegőben terjedő rezgéseket is, illetve azokat, amelyek forrása elég közel van. A természetes szelekció ezután különleges terv (a fül) evolúcióját támogathatta, amely egyre távolabbi forrásoktól származó, a levegőben terjedő rezgések felfogására képes. Könnyen beláthatjuk, hogy itt is a lépésről lépésre történő tökéletesedés folytonos soráról lehetett szó. Hogyan alakult ki az echolokáció? Minden olyan állat hallhatja a visszhangot, amelynek van hallószerve. Vak emberek megtanulják ezeket a visszhangokat felhasználni. Az ősi emlősökben meglevő ilyen készség kezdetleges formája bőséges nyersanyagot szolgáltatott a természetes szelekciónak, hogy a fokozatos változások révén eljusson a denevérek szintjére.

Az ötszázalékos látás többet ér, mint a látás hiánya. Az ötszázalékos hallás jobb, mint a teljes sükettség. Az ötszázalékos repülési képesség értéke-sebb, mint a repülés hiánya. Teljes mértékben hihető, hogy az általunk ma látott minden szerv vagy készülék az állati térben megtett folyamatos út

eredménye, olyan úté, amelyen minden közbülső fázis a fennmaradást és a szaporodást segítette. Bárhol találunk is egy X-et valódi, élő állatban (itt az X valamely szervet jelent, amely túlságosan bonyolult ahhoz, hogy véletlenszerűen létrejöhetett volna egyetlen lépésben), akkor a természetes szelekción alapuló evolúcióelmélet szerint itt az X bármely töredéke jobb, mint az X teljes hiánya; az X két töredéke jobb, mint az egy, s a teljes jobb, mint az X kilenctizede. Minden nehézség nélkül el tudom fogadni, hogy ezek az állítások igazak a szemre és a fülre, beleértve a denevérek fülét és szárnyait, a rejtőző és a mimikris rovarokra, a kígyók állkapcsára, a fullánkra, a kakukk életmódjára és az antievolúciós propaganda által előbányászott összes többi példára. Kétséggkívül elképzelhetünk X-et, amelyre nézve ezek az állítások nem volnának igazak; sok olyan evolúciós ösvényt elképzelhetünk, ahol a közbülső szakaszok nem jelentenének tökéletesedést elődeinkhez képest, ám ezeket az X-eket nem találjuk meg az élővilágban.

A fajok eredetében Darwin ezt írta:

„Ha bárki bebizonyítaná, hogy létezik olyan bonyolult szerv, amely nem alakulhatott volna ki sok-sok egymást követő parányi módosulás révén, akkor egész elméletem összeomlana.”

Ma, 125 évvel később, sokkal többet tudunk Darwinnál az állatokról és a növényekről, s még mindig nincs tudomásom egyetlen olyan esetről sem, hogy valamely bonyolult szerv ne fejlődhetett volna ki sok-sok egymást követő, parányi módosulás révén. Nem is hiszem, hogy valaha találkozzunk ilyen esettel. Ha mégis – s az valóban bonyolult szerv (amint a későbbi fejezetekben látjuk majd), nagyon gondosan meg kell határozni, mit értsünk a „parányi” jelzőn –, akkor többé nem hiszek majd a darwinizmusban.

Némelykor a ma élő állatok testében felfedezhetjük az átmeneti szakaszok egész történetét; előfordul ez a végső kialakítás szemmel látható hibáinál is. A *The Panda's Thumb* című kiváló tanulmányában Stephen Gould azt fejtegeti, hogy az evolúció gondolatát sokkal inkább alátámasztják a nyilvánvaló tökéletlenségek, mint a tökéletes formációk. A következőkben megemlítek két ilyen példát.

A tenger fenekén élő halak számára előnyös, hogy testük lapos és körvonalaik elmosódnak. Két különböző típusú ilyen lapos hal él a tenger fenekén, amelyek egymástól teljesen eltérő úton fejlődtek ilyenre. A ráják (a cápák rokonai) lényegében „nyilvánvaló” módon váltak lapossá: testük oldalirányban növekedett, s nagy „szárnyakat” növesztett. Olyan cápára hasonlítanak, amelyeket laposra nyomott az úthenger, ám szimmetriájuk és függőleges elrendezésük megmaradt. Ettől eltérő módon vált lapossá a sima lepényhal, a nyelvhal, az óriás laposhal, s néhány rokonuk: ezek csontos halak (úszóhólyagjuk is nagy), s így a heringgel, a pisztránggal állnak rokonságban; semmi köztük a cápákhoz. Ez utóbbiaktól eltérően a csontos halakra általában az a tendencia jellemző, hogy függőleges irányban laposodtak el. A hering például sokkal „magasabb”, mint amilyen széles. Teljes, függőleges irányban lapult testét úszófelületként használja: hullámzó mozgással

halad előre a vízben. Természetes volt tehát, hogy amikor a lepényhal és a nyelvhal ősei a tenger fenekére költöztek, nem a hasukra (mint a ráják ősei), hanem egyik oldalukra dőltek. Ez azonban azzal a kellemetlenséggel járt, hogy egyik szemük folyton lefelé, a homokba nézett, így lényegében hasznavehetetlenné vált. Az evolúció úgy oldotta meg ezt a problémát, hogy az alsó szem „elmozdult” és a felső oldalra került.

Ezt az átvándorlási folyamatot megtaláljuk minden egyes fiatal csontos laposhal fejlődésénél. A fiatal laposhal úgy kezdi az életét, hogy a víz felszíne közelében úszkál; teste szimmetrikus és függőleges irányban lapos, akárcsak a heringé. Ezután koponyája különös, aszimmetrikus, „kicsavart” módon növekedésnek indul, s így a hal egyik szeme (mondjuk a bal) átkerül a fejtetőre, majd onnan a másik oldalra. A fiatal hal ezután megállapodik a fenéken, mindkét szeme felfelé néz, mint valami különös Picasso-látomás. Néhány laposhalfaj egyébként a jobb oldalán állapodik meg, mások a bal oldalon, megint mások felváltva a két oldalon.

A csontos laposhal egész koponyájára rányomja bélyegét a kezdeti kicsavart és torz fejlődés. Maga ez a tökéletlen fejlődés a legerősebb bizonyítéka őstörténetének, a lépésről lépésre való változás történetének, szemben a tudatos tervezéssel. Nincs olyan értelmes tervező, aki – amennyiben szabad kezet kap, hogy a rajztáblán laposhalat alkosson – ilyen szörnyszülöttre gondolna. Szerintem a legtöbb értelmes tervező inkább valamilyen rájaszerű lényre gondolna, ám az evolúció soha nem indul tiszta rajzlappal. Mindig azzal dolgozik, amit készen kap. A ráják ősei esetében ez a nyersanyag a szabadon úszkáló cápa volt. A cápák általában – a szabadon úszó csontos halaktól (mint például a hering) eltérően – nem laposak oldalirányban. Ha egyáltalán laposságról beszélhetünk, a cápák kissé a hát–has irányban lapultak. Ez azt jelenti, hogy amikor néhány őscápa először merült le a tenger fenekére, már könnyű volt az átmenet a rája alakhoz; a tengerfenék körülményei között minden egyes átmeneti fokozat bizonyos javulást jelent kevésbé lapult elődjéhez képest.

Ugyanakkor viszont, amikor a (heringhez hasonlóan oldalirányban lapult) lepényhal és az óriás laposhal szabadon úszó ősei lemerültek a tenger fenekére, könnyebb volt az egyik oldalra dőlni, mint egyensúlyt tartani késpenge szélességű hasán! Jóllehet ez az evolúciós fejlődés végül ahhoz a bonyolult, s alighanem „költséges” torzuláshoz vezetett, amely azzal jár együtt, hogy mindkét szem a hal egyik oldalán van, s bár a ráják megoldása végső fokon a legjobb konstrukció lehetett volna a csontos halak esetében is, azok a majdani átmeneti alakzatok, amelyek az evolúciónak ezt az útját választották, rövid távon rosszabbul jártak, mint az oldalukra dőlő vetélytársaik. Ez utóbbiak rövid távon annival is előnyösebb helyzetben voltak, hogy beleolvadtak a tengerfenékbe. A genetikai hipertérben sima út köti össze a szabadon úszó csontos őshalat az oldalára dőlő laposhallal (amelynek kicsavarodott a koponyája). Ezzel szemben nem vezet sima út ezen csontos őshalaktól a hasukon fekvő laposhalakhoz. Elméletileg létezik ilyen

útvonal, ez azonban olyan átmeneti alakzatokon vezet keresztül, amelyek rövid távon (s ez a lényeg) sikertelenek lettek volna, ha egyáltalán létrejönnek.

Második példánk olyan evolúciós fejlődést mutat be, amely szintén a hátrányos helyzetű átmeneti alakzatok miatt nem ment végbe, jóllehet végső fokon sikeresebbnek bizonyulhatott volna; szemünk (és valamennyi gerinces állat szemének) recehártájáról van szó. Mint minden ideg, a látóideg is sokeres kábelhez hasonlít, különálló, szigetelt vezetékcsomaghoz; a jelen esetben kb. 3 millió ilyen vezetékről van szó, amelyek mindegyike a retinán levő valamelyik sejttől vezet az agyba. Úgy képzelhetjük el ezeket, mint 3 millió fotocellából (valójában még ennél is sokkal több fotocellából, az információt összegyűjtő reléállomásból) a számítógéphez vezető huzalokat, amelyek az agyban feldolgozzák az információt. A retina egész felületéről egyetlen kötegben egyesülnek ezek a szálak, s ez a szem látóidege.

Minden mérnök magától értetődőnek tartaná, hogy a fotocellák a fény felé néznek, s a vezetékek hátrafelé mennek az agy irányába. Kinevetnék, ha valaki azt mondaná, hogy a fotocellák a fényvel *ellenkező irányba* néznek, s a vezetékek a fényhez közel eső oldalon lépnek ki belőlük. Mégis, minden gerinces állat recehártájánál pontosan ez történik. Minden egyes fotocella huzalozása hátrafelé irányul, s a huzalok a fényhez közelebb eső oldalon jönnek ki. A huzalnak át kell haladnia a retina egész felületén odáig, ahol a retinában levő lyukon (ezt vakfoltnak nevezik) áthaladva belép a látóidegbe. Ez azt jelenti, hogy a fény nem jut el akadálytalanul a fotocellákhoz, hanem az összekötő huzalok egész erdején kénytelen áthaladni, ahol minden bizonnyal csillapítódik és eltorzul (ez valójában nem jelentős, mégis ez az elv az, ami bosszantaná az említett rendszerető mérnökünket).

Nem tudom pontosan, mi az oka ennek a különös állapotnak, túlságosan régen lezajlott már az evolúciónak ez a szakasza. Fogadni mernék azonban, hogy valahogyan összefügg az említett útvonallal, a Biomorfország valódi megfelelőjén átvezető ösvénnyel, amelyet végig kell járni ahhoz, hogy a retina a megfelelő helyzetbe kerüljön, s ehhez a kiindulás a szemet megelőző valamilyen ősi szerv volt. Alighanem létezik ilyen útvonal, de ez a feltételezett ösvény (ha egyáltalán megvalósult közbülső alakzatok testében) előnytelennek bizonyult – lehet, hogy ez csupán átmeneti hátrány volt, de ez is elég. Ezek az átmeneti alakzatok még rosszabbul láttak talán, mint tökéletlen elődeik, s aligha jelent vigasztalást az, hogy ők távoli utódaik tökéletesebb látásához rakták le az alapokat! A lényeg az életben maradás, itt és most.

Dollo törvénye szerint az evolúció visszafordíthatatlan folyamat, de ezt gyakran összekeverik a haladás elkerülhetetlenségére vonatkozó idealista fecsegéssel, amely sokszor további ostobaságok hirdetésével párosul, s ezek szerint az evolúció megsérti a termodinamika második törvényét. (Azok, akik – C. P. Snow, a regényíró szerint – a művelt népesség azon feléhez tartoznak, akik tudják, mi is ez a második törvény, belátják: az evolúció

éppúgy nem sérti meg ezt a törvényt, mint például egy gyermek növekedése sem.) Semmi ok nincs azt feltételezni, hogy ne lehetnének visszafordítható általános tendenciák is az evolúció során. Ha az evolúció során a szarvasagancsok mérete növekszik, ugyanúgy bekövetkezhet olyan tendencia is, hogy az agancsok ismét egyre kisebbek lesznek. Dollo törvénye pusztán annak statisztikai valószínűtlenségét fejezi ki, hogy kétszer egymás után ugyanazon (illetve valójában *bármely konkrét*) evolúciós útvonalat járhatjuk be, bármelyik irányban. Egy adott mutációs lépés könnyen visszafordítható, ha azonban ezek száma növekszik, még a mindössze kilenc génecskét tartalmazó biomorfok estében is, a lehetséges útvonalak matematikai tere olyan óriási lesz, hogy szinte a lehetetlenséggel határos annak esélye, hogy két útvonal ugyanoda érkezik. Sokkal inkább érvényes ez a valóban létező állatokra, amelyeknek összehasonlíthatatlanul több génjük van. Dollo törvényében nincs semmi misztikus vagy rejtélyes, s arra sincs szükség, hogy ezzel kapcsolatban bármit „kipróbáljunk” a természetben. Ez pusztán a valószínűség alapvető törvényeiből következik.

Ugyanezen oknál fogva szinte a lehetetlenséggel határos, hogy a fejlődés kétszer ugyanazt az evolúciós útvonalat járja be, s ugyanezen statisztikai megfontolásoknál fogva hasonló mértékben valószínűtlennek tűnik, hogy különböző helyről kindulva két evolúciós vonal ugyanazon végpontba érkezék.

A természetes szelekció erejét még meglepőbb módon bizonyítja tehát, hogy az élő természetben is számos olyan példát találunk, ahol az evolúció egymástól független vonalai látszanak találkozni; erősen eltérő helyekről kiindulva úgy tűnik, hogy a vonalak végpontja azonos. Ha azonban jobban megvizsgáljuk, azt látjuk, hogy ez a találkozás nem teljes (aggasztó is volna, ha nem így lenne). Az evolúció különböző vonalai számos részletkérdésben elárulják más-más eredetüket. A polip szeme például nagyon hasonlít az emberéhez, de a fényérzékeny sejtekből kiinduló vezetékek a mienkétől eltérően nem a fény felé mutatnak: a polip szeme ilyen értelemben „célszerűbb” kivitelű. A két faj szeme távoli kiindulási pontról egymáshoz közeli végpontra érkezett, s ezt az előbbi és ehhez hasonló részletek árulják el.

Az ilyen felületes konvergáló hasonlóságok gyakran drámai erővel hatnak ránk, s így a fejezet további részében bemutatok még néhányat. Ezek igen meggyőzően bizonyítják a természetes szelekció azon képességét, hogy jó konstrukciókat hozzon létre. Mégis, a felületesen nézve hasonló kivitelek különbségei azt is jelzik, hogy ezek más-más evolúciós pontról indultak ki, és más utat jártak be. Ennek alapvető magyarázata a következő: ha valamely „terv” elég jó ahhoz, hogy egyszer létrejöjjön, ugyanez a *tervezési elv* elég jó ahhoz is, hogy más-más pontról kiindulva másodszor is kifejlődjék az állatvilág eltérő pontjain. Semmi nem példázza ezt jobban, mint az az eset, amellyel magát a jó „tervet” mutattuk be: az echolokáció.

Az echolokációval kapcsolatos ismereteink túlnyomó részét a denevérektől (és az emberkéz alkotta műszerektől) nyertük, ám ez a jelenség más,

egymással nem rokon állatcsoportoknál is előfordul. Legalább két különböző madárcsoport alkalmazza, s a delfinek, valamint a bálnák igen magas fokra emelték. Ezen túlmenően, legalább két különböző denevércsoport is minden bizonnyal egymástól függetlenül „fedezte fel” ezt a módszert. A szóban forgó madarak a Dél-Amerikában élő olajmadarak (*Steatorus caripensis*) és a Távol-Keleten élő kis kazári fecskék (ez utóbbiak fészkeből készítik a fecskefészeklevest). Mindkét madárfaj barlangok mélyén fészkel, ahol majdnem teljes a sötétség, s mindketten saját, kattogó hangjuk visszaverődésével tájékozódnak a sötétben. Mindkét esetben az emberi fül számára is hallható hangokról van szó, eltérően a jobban specializálódott denevérek ultrahangos kiáltásaitól. Valójában úgy tűnik, egyik madárfaj sem fejlesztette olyan tökélyre az echolokációt, mint a denevérek. Kiáltásuk nem frekvenciamodulált, a jelek szerint nem alkalmas a Doppler-eltolódáson alapuló sebességmérésre. A *Rousettus* nevű gyümölcsdenevérhez hasonlóan alighanem ők is csupán az egyes kattanások és az azok visszhangja közötti néma időtartamot szabályozzák.

Ebben az esetben tökéletesen biztosak lehetünk abban, hogy a két madárfaj a denevérektől (és egymástól) függetlenül találta fel az echolokációt. Ezt a fajta gondolatmenetet az evolúció szakértői gyakran alkalmazzák. Megfigyeljük a sok ezer madárfajt és megállapítjuk, hogy túlnyomó többségük nem használja az echolokációt. Csupán két elszigetelt kis madárfaj alkalmazza azt, s ennek a kettőnek sincs egymáshoz semmi köze attól eltekintve, hogy mindkét faj barlangban él. Igaz, meggyőződésünk szerint minden madár és denevér közös őstől származik, ha elég messzire haladunk visszafelé törzsfájukon, s ez a közös ős egyúttal valamennyi emlős (az embert is beleértve) és az összes madár őse is volt. Az emlősök és a madarak túlnyomó többsége nem használja az echolokációt; nagyon valószínű tehát, hogy közös ősük sem használta (s nem is repült: ez is olyan technika, amely többször, önállóan kifejlődött az idők során). Az következik ebből, hogy az echolokáció technikáját önállóan fejlesztették ki a denevérek és a madarak éppúgy, mint az angol, az amerikai és a német tudósok. Alacsonyabb szinten ugyanez a gondolatmenet ahhoz a következtetéshez vezet, hogy az említett olajmadár és a barlangi fecske közös őse sem használta az echolokációt, s ez a két nemzetség egymástól függetlenül fejlesztette ki ugyanazt a technikát.

Az emlősök között sem a denevérek az egyetlen olyan csoport, amely önállóan fejlesztette ki az echolokáció technikáját: számos különböző emlősfaj (például a cickányok, a patkányok és a fókák) a jelek szerint kismértékben használja a visszhangokat a vak emberekhez hasonlóan, ám a bálnák a denevérek egyedüli riválisai ennek a technikának a tökéletesítésében. A bálnákat két fő csoportra osztjuk: a fogascetek és a sziláscetek csoportjára. Természetesen mindkét csoport az emlősökhöz tartozik, amelyek szárazföldi őseiktől származnak; meglehet, hogy egymástól függetlenül, különböző szárazföldi ősekből kiindulva tértek át a vízi életmódra. A fogascetek családjába tartoznak az ámbráscetek, a kardszárnyú delfinek és a

különböző más delfinfajok, amelyek viszonylag nagy zsákmányállatokra (például halakra és tintahalakra) vadásznak. Számos fogascetfaj (amelyek közül csupán a delfineket tanulmányozták eddig alaposan) fejlesztette ki a bonyolult visszhangszondázó berendezést.

A delfinek nagyfrekvenciás kattogást bocsátanak ki gyors egymásutánban; ezek egy része hallható, más része az ultrahangtartományba esik. Valószínű, hogy a delfin fejének kidomborodó elülső része, amely nagyon hasonlít a Nimród típusú, korai, riasztóradarral felszerelt felderítő repülőgép hasonló szerkezetére, valamilyen formában szerepet játszik a szonárjelek összegyűjtésében és irányításában, pontos működését azonban nem ismerjük. Akárcsak a denevéreknél, itt is megtaláljuk a viszonylag lassú csettogést (cirkáló sebesség), amely gyors berregéssé változik (másodpercenként 400 kattánást hallat), amikor az állat a zsákmányát üldözi. Egyébként a „lassú” cirkáló sebesség is meglehetősen gyors. Az iszapos vízben élő folyami delfinek alighanem a legügyesebb echolokátorok, de a vizsgálatok során ugyanez derült ki néhány nyílt tengeri delfinről is. Az Atlanti-óceánban élő egyik palackorrúdelfin-faj pusztán a szonárja segítségével képes megkülönböztetni (azonos szabvány méretű) köröket, négyzeteket és háromszögeket. Akkor is meg tudja állapítani, melyik cél van közelebb, ha a különbség mindössze fél centiméter, a távolság pedig kb. 6 méter. Körülbelül 60 méterről észleli a golfabda nagyságú acélgolyót. Ez a teljesítmény talán elmarad jó látási viszonyok között az *emberi látástól*, de a holdfényben való látást valószínűleg felülmúlja.

Az az izgalmas gondolat merült fel, hogy a delfinek – amennyiben úgy döntenek, hogy alkalmazzák azt – gyakorlatilag minden nehézség nélkül tudnának egymás között „gondolati képeket” továbbítani. Ehhez csupán arra lenne szükség, hogy rendkívül sokoldalú hangképző szerveik segítségével olyan hangmintát utánozzanak, amely az adott tárgyról visszaverődő hangoknak felel meg. Ezáltal egymás között ilyen tárgyak gondolati képeit közvetíthetnék. Ezt a nagyszerű feltevést semmilyen bizonyíték nem támasztja alá. Elméletileg a denevérek is megtehetnék ugyanezt, a delfinek esetében azonban mégis valószínűbbnek látszik, mivel általában erősebb bennük a társas hajlam. Ezenkívül alighanem „okosabbak” is, bár ez nem feltétlenül lényeges szempont. A visszhangképek továbbításához szükséges készülékek nem bonyolultabbak, mint azok, amelyekkel a denevérek és a delfinek már ma is rendelkeznek az echolokációhoz. Itt is szó lehetne a sima, folytonos átmenetről a két végét (a visszhangképzés és a visszhangok utánzása) között.

Elmondhatjuk tehát, hogy legalább két denevércsoport, két madárcsoport, a fogascetek és (kisebb mértékben) valószínűleg több más emlősfaj is egymástól függetlenül eljutott az elmúlt 100 millió év során valamikor a szonár technikájához. Nem tudjuk megmondani, a ma már kihalt állatok között nem akadtak-e mások is (például a pterodaktilusok), amelyek önállóan szintén kifejlesztették ezt a technikát.

Nem ismerünk olyan rovarokat és halakat, amelyek a szonárt használják, de két, egymástól erősen különböző halfaj (az egyik Dél-Amerikában, a másik pedig Afrikában él) némiképp hasonló tájékozódási rendszert fejlesztett ki, amely a jelek szerint körülbelül ugyanolyan bonyolult, és ugyanazon probléma hasonló (bár nem teljesen azonos) megoldásának tekinthető. Ezek az úgynevezett gyenge-elektromos halak. A gyenge jelző az erős elektromos halaktól különbözteti meg őket, mely utóbbiak nem a tájékozódáshoz, hanem a zsákmány megbénításához használják az elektromos erőteret. Ez a bénítótechnika egyébként szintén több, egymással rokonságban nem álló halfaj önálló találmánya: például az elektromos angolnáké (amelyek nem valódi angolnák, de az alakjuk nagyon hasonlít ezekéhez) és a villamos rájáké.

A Dél-Amerikában és az Afrikában élő gyenge elektromos halak nem rokonai egymásnak, de a maga kontinensén mindegyik ugyanolyan jellegű vizekben él; ezek a vizek annyira iszaposak, hogy szinte lehetetlenné teszik a látást. Az általuk kiaknázott fizikai alapelv (az elektromos erőter kibocsátása vízben) számunkra még idegenebb, mint a denevérek és a delfinek módszere. Arról legalább van némi szubjektív fogalmunk, mit jelent a visszhang, de azt szinte lehetetlen elképzelni, mit jelenthet az elektromos erőter érzékelése. Néhány száz évvel ezelőtt azt sem tudtuk, hogy az elektromosság létezik. Mint szubjektív emberi lények, nem tudjuk beleélni magunkat az elektromos halak helyzetébe, de mint fizikusok, képesek vagyunk megérteni őket.

A vacsoránál könnyen beláthatjuk, hogy a hal két oldalán levő izmok mintegy rekeszsort alkotnak, az izomegységek battriáját. A legtöbb halnál ezek egymást követő összehúzódása idézi elő a test kígyózó-hullámozó mozgását, s így halad előre. Az elektromos halaknál (mind az erős, mind a gyenge elektromos halaknál) ezek az izmok a szó elektromos értelmében váltak battriává, azaz elemmé, amelynek minden egyes szakasza (cellája) feszültséget állít elő. Ezek a feszültségek a hal hossz tengelye mentén sorba kapcsolódnak, s így erős elektromos hal esetében (amilyen például az elektromos angolna) a telep együttesen 1 A erősségű, 650 V feszültségű áramot állít elő. Az elektromos angolna képes leteríteni egy embert. A gyenge elektromos halaknak nincs szükségük nagy feszültségre vagy áramerősségre, mivel az elektromosságot pusztán információszerezésre használják.

Az *elektrolokáció* elvét (így nevezzük ezt a jelenséget) fizikai értelemben jól ismerjük, bár természetesen nem tudjuk, milyen érzés lehet elektromos hálnak lenni. A következőkben leírtak egyaránt érvényesek az Afrikában és a Dél-Amerikában élő gyenge elektromos halakra, olyan nagy a közöttük levő hasonlóság. Az áram a hal első feléből lép ki a vízbe, s ott az erővonalak mentén visszafordul, és a halat annak farkvégénél éri el újra. Valójában nem különálló „vonalakról”, mint inkább folytonos mezőről van szó: a hal testét az elektromosság láthatatlan burka veszi körül. Ahhoz azonban, hogy ezt könnyen elképzeljük, legjobb, ha görbe erővonalak halmazára gondo-

lunk, amelyek a hal testén elől levő lyukakból áramlanak ki, a vízben visszafordulnak és a farka végénél újra behatolnak a hal testébe. A halnak apró „feszültségmérője” van, ezzel ellenőrzi minden egyes lyuknál a feszültséget. Ha nyílt vízben tartózkodik, ahol nincsenek a közelben akadályok, akkor az erővonalak egyenletesen görbülnek. Az egyes lyukaknál levő parányi feszültségmérők normál feszültséget jeleznek. Ha azonban valamilyen akadály bukkan fel a közelben (pl. szikla vagy élelem), megváltoznak az áram azon erővonalai, amelyek beleütköztek az akadályba, s így az érintett lyuknál megváltozik a feszültség, s ezt az ott levő feszültségmérő jelzi. Elméletben tehát az összes lyuknál levő feszültségmérő által regisztrált feszültségek alakjának összehasonlítása útján számítógéppel kiszámíthatnánk a hal környezetében levő akadályok elhelyezkedését. Úgy tűnik, a hal agya éppen ezt teszi. Ismét hangsúlyozzuk: ez nem azt jelenti, hogy a halak jó eszű matematikusok. Egyszerűen olyan készülékkel rendelkeznek, amely megoldja az ehhez szükséges egyenleteket éppúgy, mint ahogy az emberi agy (anélkül, hogy tudnánk róla) egyenleteket old meg, amikor elkapjuk a levegőben repülő labdát.

Rendkívül fontos, hogy a hal teste mindvégig tökéletesen merev marad. A fejében levő számítógép már nem tudna megbirkózni azzal a többletmunkával, amelyet a testének hajlongó-kígyózó mozgása okozna. Az elektromos halak legalábbis két alkalommal különállóan találtak rá erre a zseniális tájékozódási módszerre, de ennek megvolt a maga ára: kénytelenek voltak feladni szabályos, rendkívül hatékony, a halakra jellemző úszási módszerüket, amelynél az egész test kígyózó hullámmozgással halad előre. Úgy oldották meg a feladatot, hogy testüket mereven tartják, mint a piszkavasat, és testük mentén egyetlen, hosszú uszony helyezkedik el. Nem az egész testük, hanem csupán ez a hosszú uszony vesz részt a hullámmozgásban. A hal így lassan halad előre a vízben, de azért halad, s a jelek szerint érdemes volt meghozni ezt az áldozatot, lemondva a gyors mozgásról: a tájékozódás fokozott biztonsága kárpótolja az állatot az elveszett sebességért. Ami még érdekesebb, a dél-amerikai elektromos halak majdnem (bár nem egészen) ugyanazt a megoldást fedezték fel, mint afrikai társaik. A különbség is tanulságos: mindkét csoportnál egyetlen, a test egész hosszában elhelyezkedő uszony alakult ki, de az afrikai halaknál ez a hátón, a dél-amerikaiaknál viszont a hason helyezkedik el. Amint láttuk, a részletekben jelentkező ilyen különbség nagyon jellemző a konvergens evolúcióra. Jellemző ez természetesen az emberi mérnökök által kialakított konvergens konstrukciókra is.

Jóllehet a gyenge elektromos halak többsége (Afrikában és Dél-Amerikában egyaránt) különálló impulzusok alakjában bocsátja ki ezeket az elektromos kisüléseket (s ezeket „impulzusfajoknak” nevezzük), a kisebbség mindkét csoportnál másként jár el; ezeket „hullámfajoknak” nevezzük. A továbbiakban nem foglalkozom ezzel a különbséggel, bennünket ugyanis most csupán az érdekel, hogy ez az impulzus/hullám szétválás egymástól függetle-

nül kétszer alakult ki, az egymással nem rokon újvilági és óvilági csoportokban.

A konvergáló evolúció általam ismert egyik legkülönösebb példáját az úgynevezett időszakos kabócák nyújtják. Mielőtt rátérnék a konvergenciára, tartozom az olvasónak bizonyos háttérinformációval. Sok rovarnál meglehetősen mereven elválik a fiatalkori táplálkozási szakasz (ezzel töltik életük túlnyomó részét) a viszonylag rövid felnőttkori szaporodási szakasztól. A kérészek például életük nagy részét a víz alatt táplálkozó lárvaként töltik, majd egyetlen napra a felszínre emelkednek, s ebbe sűrítik teljes kifejlett életüket. A kifejlett állatokat olyan növény efemer szárnyas magvai-ként képzelhetjük el, mint amilyen például a juharfáé, a lárvá pedig maga a növény megfelelője; itt az a különbség, hogy a juharfa rengeteg magvat nevel, s ezt sok-sok éven át ontja magából, a kérész lárvája pedig élete végén csupán egyetlen kifejlett példányt hoz létre. Az időszakos kabócák minden-esetre a végsőig továbbfejlesztették a kérészekre jellemző viselkedést: a kifejlett állatok mindössze néhány hétig élnek, de az „ifjúkori” szakasz (itt technikai értelemben nem annyira lárvákról, mint inkább nimfákról van szó) egyes változatoknál 13, másoknál 17 évig tart. A kifejlett állatok szinte egyidejűleg bújnak elő, miután 13 (vagy 17) évet töltöttek föld alatti börtönükben. A kabócajárás, amely pontosan 13 (vagy 17) évenként ismétlődik, lavinaszerű látványosság, amelyet az amerikai köznyelv helytelenül sáskajárásnak nevez. A szóban forgó változatokat 13 éves és 17 éves kabócaknak nevezik.

Most jön azonban az igazán érdekes dolog: kiderült, hogy nem két faj (a tizenhárom és a tizenhét éves kabóca) létezik, hanem tulajdonképpen három fajról van szó, amelyek mindegyikének megvan a 17 éves és a 13 éves változata. Ezeket tehát egymástól függetlenül nem kevesebb, mint három alkalommal fejlesztették ki a kabócák az idők során. Úgy tűnik, hogy a közbeeső 14, 15 és 16 éves időközöket legalább 3-szor hidalták át. Miért? A választ nem tudjuk. Eddig az egyetlen magyarázat a 13 és a 17 évvel kapcsolatban (szemben a 14, 15 és 16 évvel) az volt, hogy ezek törzsszámok. (A törzsszám maradék nélkül egyetlen más számmal sem osztható.) Ebben az a gondolat rejlik, hogy a rendszeresen, rohamokban jelentkező állatok számára előnyös, ha ellenségeiket, a ragadozókat vagy a parazitákat felváltva, hol „elárasztják”, hol pedig kiéheztetik. Ha ezen rohamok gondos időzítéssel a törzsszámoknak megfelelő évenként jelentkeznek, akkor az ellenségeik nehezebben tudják saját életritmusaikat ehhez igazítani. Ha a kabócák például 14 évenként jelennének meg tömegesen, ezt a 7 éves életciklusú parazitafajok remekül kihasználhatnák. Tudom, bizarr gondolat ez, de nem bizarrabb, mint maga a jelenség. Csakugyan nem tudjuk, mi a jelentősége a 13 és a 17 éves ciklusnak. A mi szempontunkból az a lényeg, hogy bizonyára van valami különleges bennük, mivel három különböző kabóca-faj egymástól függetlenül fejlődött idáig.

A jelentős mértékű konvergencia példáival olyankor találkozunk, amikor

két vagy több kontinens hosszú időn át el van *vágva* egymástól, s ezek mindegyikén egymással rokonságban nem álló állatok hasonló technikákat vezetnek be. A technika kifejezésen most a megélhetés módját értem, például férgek gyűjtését, hangyák kiásását, nagy testű növényevők vadászatát, a fákon növő levelek fogyasztását. Jó példa erre számos, az emlősök által alkalmazott, ilyen technika egymáshoz közelítő kifejlődése Dél-Amerikában, Ausztráliában és az Óvilágban.

Ezek a kontinensek nem voltak mindig elvágva egymástól. Mivel az emberi életet évtizedekben, civilizációnkat és az uralkodócsaládok életét is csupán évszázadokban mérjük, megszoktuk, hogy változatlanak tekintjük a világ domborzati térképét, a kontinensek elhelyezkedését. Alfred Wegener német geofizikus már régen előállott ugyan azzal az elmélettel, hogy a kontinensek vándorolnak, ám egészen a II. világháború utáni időkig többnyire kinevelték őt. Pusztán szórakoztató véletlennek tekintették azt a tagadhatatlan tényt, hogy Dél-Amerika és Afrika körvonalai úgy illeszkednek egymáshoz, mint egy kirakós játék darabjai. A tudomány történetének egyik leggyorsabb és legátfogóbb forradalma nyomán ma már mindenki elfogadja a *kontinensek vándorlásának* elméletét: az elmélet mai neve *lemeztektonika*. Ma már a szó szoros értelmében lehengerlő a bizonyítékok súlya, amelyek szerint a kontinensek csakugyan vándorolnak, és például Dél-Amerika csakugyan leszakadt Afrikáról. Ez azonban nem geológiai tárgyú könyv, s a továbbiakban nem is foglalkozom ezzel a témával. Számunkra az a lényeg, hogy a kontinensek vándorlását körülbelül ugyanolyan nyújtott időskálán mérhetjük, mint az állatfajok kialakulását, s így nem hagyhatjuk figyelmen kívül a kontinensek vándorlását, ha meg akarjuk érteni, hogyan alakult ott az állatok evolúciója.

Körülbelül 100 millió évvel ezelőtt Dél-Amerika keleten Afrikával, délen pedig az Antarktisszal érintkezett. Ez utóbbi Ausztráliával, India pedig Madagaszkáron át Afrikával volt határos. Lényegében egyetlen óriási szárazföld volt a déli féltekén, amelyet ma Gondwana-földnek nevezünk; ez a kontinens a mai Dél-Amerikából, Afrikából, Madagaszkárból, Indiából, az Antarktiszból és Ausztráliából állott. Az északi félgömbön ugyancsak egyetlen nagy kontinens volt: Laurázsia, amely a mai Észak-Amerikából, Grönlandból, Európából és Ázsiából állott (India kivételével). Akkoriban Észak-Amerika nem érintkezett Dél-Amerikával. Körülbelül 100 millió évvel ezelőtt a szárazföldek óriási széttoredezése következett be, s a kontinensek megkezdték lassú vándorlásukat jelenlegi helyükre. (Ezt a mozgásukat természetesen a jövőben is megtartják.) Afrika Arábián át összekapcsolódott Ázsiával és a ma Óvilágnak nevezett hatalmas szárazföld része lett. Észak-Amerika eltávolodott Európától; az Antarktisz dél felé sodródott, mai, hideg helyére. India levált Afrikáról, átszelte a mai Indiai-óceánt, s végül Ázsia déli részéhez csapódott és magasra gyűrte a Himaláját. Ausztrália levált az Antarktiszról, és a nyílt tengeren sodródva önálló szigetkontinenst alkot.

Úgy alakultak a dolgok, hogy a nagy déli szárazföld (Gondwana-föld) széttöredezése a dinoszauruszok idején kezdődött. Amikor Dél-Amerika és Ausztrália leszakadt, és megkezdte hosszú ideig tartó izolált életét, ezek mindegyikén megtalálhatók voltak a dinoszauruszok és azok a kevésbé jelentős állatok, amelyek később a mai emlősök ősei lettek. Amikor később, ma még ismeretlen és sok termékeny vitát kavaráó okokból a dinoszauruszok kihaltak (kivéve azt a csoportjukat, amelyet ma madaraknak nevezünk), ez a kihalás az egész világon bekövetkezett. Ezáltal vákuum keletkezett a „technikák” területén, s ezt néhány millió éves evolúció során jórészt az emlősök foglalták el. A mi szempontunkból itt az az érdekes, hogy három, egymástól független vákuum keletkezett, s ezeket ugyancsak egymástól függetlenül az emlősök foglalták el Ausztráliában, Dél-Amerikában és az Óvilágban.

Azok a kezdetleges emlősök, amelyek véletlenül ott éltek, ahol a dinoszauruszok többé-kevésbé egyidejűleg kiűritették a terepet a nagy élettechnikák előtt, mindnyájan eléggé kis termetű és jelentéktelen fajok voltak; valószínűleg éjszakai életet éltek, s korábban jelentéktelenségre ítélték őket a dinoszauruszok. Fejlődhetnek volna gyökeresen más-más irányban is a három kontinensen, s bizonyos fokig csakugyan ez történt.

Az Óvilágban nyoma sincs a (sajnos ma már kihalt) dél-amerikai óriás földi lajhárnak. A dél-amerikai emlősök nagy családjába tartozott a ma már kihalt óriás tengerimalac, amely a ma élő orrszarvú nagyságát is elérte, s ugyanakkor rácsáló volt! (Azért vagyok kénytelen a „mai” orrszarvúra hivatkozni, mivel annak idején az óvilági fauna egyik tagja volt a kétemeletes ház nagyságú óriás rinocérosz is.) Jóllehet azonban az egymástól elszakadt kontinensek mindegyikén létrejöttek a csak rájuk jellemző emlősök, az evolúció általános menete mindhárom területen azonos volt. Mindenütt azok az emlősök indultak fejlődésnek, amelyek kezdetben is jelen voltak; kitermelték a maguk élettechnikai specialistáit, s ezek idővel meglepő hasonlóságot mutattak a másik két kontinensen élő kollégáikhoz. Minden egyes technika: a földtúrás, a vadászat, a síksági legelészés stb. két-három egymástól elkülönült szárazföld önálló, mégis egymáshoz közelítő (konvergens) evolúcióját élte át. A független evolúció említett három fő színterén kívül kisebb szigeteken is (például Madagaszkáron) hasonló párhuzamos fejlődések mentek végbe, de ezekkel nem foglalkozom.

Eltekintve Ausztrália különös tojásrakó emlőseitől (a kacsacsőrű emlőstől és a hangyászszünöktől), az összes ma élő emlős két nagy csoport valamelyikéhez tartozik: az erszényesekhez vagy a méhlepényesekhez. Az előbbieket igen fejletlenül jönnek a világra, s anyjuk az erszényében hordozza őket. A többiekhez tartozunk mi is. Ausztráliát az erszényesek, az Óvilágot a méhlepényesek vették birtokukba, Dél-Amerikában pedig egymás mellett fejlődtek. Ez utóbbi történetet az bonyolítja, hogy időnként betörték ide az észak-amerikai emlősök is.

Miután felrajzoltuk a helyszínt, most sorra vehetünk néhány *élettechnikát*

és azok egymáshoz közeledését. Az egyik ilyen fontos technika a nagy, füves térségek (prérik, pampák, szavannák) kiaknázásával kapcsolatos. Ezt alkalmazzák többek között a lovak (amelyek két afrikai fajtát zebrának, sivatagi változatát pedig számárnak nevezzük), továbbá a szarvasmarhák (például az észak-amerikai bölény, amelyet a mértéktelen vadászat következtében a kihálás veszélye fenyeget). A füevőkre az jellemző, hogy igen hosszú, különböző erjesztőbaktériumokat tartalmazó emésztőcsatornájuk van, mert a fű gyenge tápértékű anyag, és megemésztéséhez hosszú idő kell. Ezek az állatok nem szakaszosan étkeznek, hanem többé-kevésbé folyamatosan táplálkoznak. Reggeltől estig folyamként ömlik át rajtuk a megemészthető óriási mennyiségű növényi anyag. Ezek az állatok gyakran nagy testűek, és sokszor óriási csordákban legelésznek. Egy-egy ilyen nagy növényevő valószínűleg az olyan ragadozó számára, amely élni tud ezzel a lehetőséggel. Ennek következtében, amint látjuk majd, különálló technika fejlődött ki azon bonyolult feladat végrehajtására, hogy ezeket az állatokat elfogják és megegyék: a ragadozók technikája. Amikor technikáról beszélek, valójában több alcsoportra gondolok: az oroszlanok, a leopárdok, a gepárdok, a vadkutyák és a hiénák mind-mind a saját módszerükkel vadásznak. Ugyanilyen csoportosítást találhatunk a növényevőknél és az összes többi technikánál.

A növényevők érzékeny érzékszerveikkel szüntelenül figyelik a ragadozók esetleges közeledését, s rendszerint olyan gyors futók, hogy el tudnak menekülni előlük. Ezt gyakran elősegíti hosszú, vékony lábuk; általában lábujjhegyen futnak, s ez a testrészük az evolúció során különösen megnyúlt és megerősödött. Ezen specializálódott lábujjak végén a köröm megvastagodott és megkeményedett: ezt patának hívjuk. A szarvasmarhák lába végén két megnagyobbodott lábujj van: az ismert hasított patás ujj. Lényegében ugyanezt találjuk a lovaknál is azzal az eltéréssel, hogy – alighanem valamilyen történelmi véletlen folytán – nem két, hanem csupán egy lábujjon futnak. Ez az eredetileg öt ujj közül a középsőből fejlődött ki. Az evolúció során többi lábujjuk szinte teljesen eltűnt, jöllehet időnként megjelenik sajátos atavizmus alakjában.

Amint láttuk, Dél-Amerika különálló kontinens volt abban az időszakban, amikor a világ más részein a lovak és a szarvasmarhák kialakultak. Dél-Amerikának is megvan azonban a maga nagy füves területe, s itt is létrejöttek a nagy növényevők önálló csoportjai, hogy kiaknázzák ezt az erőforrást. Hatalmas testű, orrszarvúhoz hasonló leviatánok éltek itt, amelyeknek semmi közülük nem volt a valódi rinocéroszokhoz. Egyes ősi dél-amerikai növényevők koponyája arról vall, hogy az igazi elefántoktól függetlenül ők is feltalálták az ormányt. Egyesek tevére hasonlítottak, mások a ma élő állatok közül semmire nem emlékeztettek, esetleg azok különös árnyképei lehettek volna. A litopternnek nevezett csoport tagjai a lábukat tekintve szinte megszólalásig hasonlítottak a lovakra, pedig semmi közülük nem volt hozzájuk. Ez a felszínes hasonlóság még egy argentin szakértőt is megtéveszt-

tett a múlt században, aki – megbocsátható nemzeti büszkeséggel – úgy vélte, hogy ezek az állatok voltak a világ összes többi részén élő lovak ősei. Ez a hasonlóság valójában nem konvergens, hanem csupán felszínes volt. A legelőkön nagyjából hasonló az élet az egész világon, s a lovaknak és a litopternek egymástól függetlenül ugyanolyan tulajdonságaik fejlődtek ki, hogy megbirkózzanak problémáikkal. Kiemelendő, hogy a litopternek, a lovakhoz hasonlóan, középső lábujjuk kivételével minden ujjukat elvesztették; az említett lábujj megnagyobbodott, a láb alsó ízületévé vált és pata nőtt rajta. A litoptern lába úgyszólván meg sem különböztethető a lólábtól, pedig a két állatfaj csupán távoli rokonságban állt egymással.

Ausztráliában egészen mások a nagy legelésző állatok: ezeket kenguruknak nevezik. Nekik is szükségük van a gyors mozgásra, ám ezt egészen sajátos módon oldották meg: eltérően a lovaktól (és feltehetően a litopternekétől), amelyek tökélyre fejlesztették a négy lábbal való vágatást, a kenguruk más járásmódot tökéletesítettek; ők két lábon ugrálnak, s a farkukkal egyensúlyoznak. Aligha érdemes azon vitatkozni, melyik jobb a két járásmód közül. Mindkettő akkor hatékony, ha a test úgy fejlődik, hogy teljes mértékben kiaknázza a bennük rejlő lehetőséget. Úgy alakult, hogy a lovak és litopternek a négy lábbal való vágatást használták ki. Így lábaik végül szinte tökéletesen hasonlítottak egymásra. A kenguruk sorsa úgy hozta, hogy a két lábbal való ugrálást használták ki, s így végül (legalábbis a dinoszauruszok óta) a kizárólag rájuk jellemző erőteljes, hátsó lábakat és a farkat fejlesztették ki. A kenguruk és a lovak valószínűleg azért jutottak az „állati tér” más-más végállomásához, mert induláskor valamilyen véletlenszerű különbség alakult ki köztük.

Ha most visszatérünk a húsevőkhöz, amelyektől a nagy fűevők folyton menekültek, néhány még érdekesebb konvergáló hasonlóságot találunk. Az Óvilágban jól ismerjük az olyan nagy vadászó ragadozókat, mint a farkas, a kutya, a hiéna és a nagymacskafélék (az oroszlán, a tigris, a leopárd és a gepárd). Ausztráliában és az Újvilágban egészen a legutóbbi időkig nem éltek valódi macskák vagy kutyák. (A puma és a jaguár csupán az újabb időkben fejlődött ki az óvilági macskákból.) Mégis, mindkét kontinensen megtaláljuk ezek erszényes megfelelőit. Ausztráliában a tilacin vagy erszényes farkas (amelyet gyakran tasmániai farkasnak neveznek, mivel Tasmániában valamivel tovább fennmaradt, mint az ausztráliai kontinensen) tragikus módon kipusztult, s csupán emlékeinkben él. Ezt az állatot „kártevőként”, de pusztán sportból is tömegesen mészárolták le az emberek. (Némi remény van rá, hogy Tasmánia távoli területein él még néhány példánya; olyan területeken, amelyeket szintén a pusztulás fenyeget, azért, hogy az embereknek munkaalkalmat teremtsenek. *) Nem szabad összetéveszteni ezt az állatot a dingóval, amely egyébként valódi kutya, s amelyet még később

* Ha bebizonyosodik, akkor csodálatos dologról ad hírt A. M. Douglas (New Scientist, 1986. április 24.)

vitt be Ausztráliába az ember. A 30-as években az utolsó ismert erszéyes farkasról készült mozifilmen rejtélyes módon kutyára emlékeztető állatot látunk, amely nyugtalanul járkál fel és alá magános állatkerti ketrecében; erszéyes mivoltát csupán az árulja el, hogy egyáltalán nem kutyaszerűen tartja csípőjét és hátsó lábait; ez alighanem azzal függ össze, ahogyan erszényét hordozza. Megható élmény minden kutyaszerető ember számára, ha a kutya „konstrukciójának” ezt az új módját látja, ezt az evolúciós vándort, amely tőlünk 100 millió évre levő párhuzamos utat járt be, ezt a félig ismerős, s mégis megrendítően nem evilági kutyát. Lehet, hogy az emberek szempontjából ezek csakugyan kártevők voltak, ám az emberek jóval nagyobb kártevőknek bizonyultak számukra.

Dél-Amerikában sem éltek igazi kutyák és macskák az általunk tárgyalt hosszú elszigeteltségi időszak alatt, de Ausztráliához hasonlóan megtaláljuk ezek erszéyes megfelelőit. Alighanem a *Thylacosmilus* nevű fajuk volt a leglátványosabb: pontosan úgy festett, mint a kipusztult óvilági kardfogú tigris, azzal a különbséggel, hogy még „tigrisebb” volt (ha értik, mire gondolok). Késként kiálló fogai még szélesebbek, és el tudom képzelni, még rémisztőbbek voltak. Neve bizonyos felületes rokonságot jelez a kardfogú tigrissel (*Smilodon*) és a tasmániai farkassal (*Thylacinus*), őseiket illetően azonban nagyon távol állott ezektől. Valamivel közelebbi rokona az erszéyes farkasnak, mivel mindketten erszéyesek, ám nagy húsevő alkatukat más-más kontinensen egymástól és a méhlepényes húsevőktől (az Óvilág igazi macskáitól és kutyáitól) függetlenül fejlesztették ki.

Ausztráliában, Dél-Amerikában és az Óvilágban a többszörös „összetartó” evolúció számos egyéb példáját is megtaláljuk. Ausztráliában él az erszéyes vakond: felületesen nézve szinte meg sem különböztethető a többi kontinens vakondjaitól, de erszénye van; egyébként ugyanúgy él, mint a többi vakond, ugyanúgy kifejlődtek ásásra alkalmas, rendkívül erőteljes mellső lábai. Ausztráliában erszéyes egér is él, jöllehet ez esetben a hasonlóság nem olyan erőteljes, s ez az állat életmódját tekintve is különbözik a többi egértől. A hangyaevés (itt hangyáknak nevezzük az egyszerűség kedvéért a természetet is: később majd látjuk, hogy ez is konvergáló hasonlóság) olyan technika, amelyet számos különböző, konvergáló emlős alkalmaz. Ezeket a túró, fára mászó és földön járó hangyászok alcsoportjaira oszthatjuk. Amint várhatnók, Ausztráliában él az erszéyes hangyász (*Myrmecobius*), amely hosszú, vékony orrával feltúrja a hangyabolyokat, és hosszú, tapadós nyelvével felszedi zsákmányát. Ez földön lakó hangyász, de Ausztráliában földtúró hangyász is él. Ez nem erszéyes állat, hanem a tojásrakó emlősök csoportjának egyik tagja; ez olyan távoli rokonságban áll az emberrel, hogy hozzá képest az erszéyesek közeli unokatestvéreinknek tekinthetők. Ennek is hosszú, hegyes orra van, tüskéi miatt azonban ránézésre inkább a sündisznóhoz, mint más, tipikus hangyászhoz hasonlít (ezért is nevezik hangyászsünnek).

Dél-Amerikában könnyen kialakulhatott volna az erszéyes hangyász (az

erszéynes „kardfogú tigris” mellett), a dolgok azonban úgy alakultak, hogy ezt a hangyász „vonalat” már betöltötték a méhlepényes emlősök. A legnagyobb ma élő hangyász a Myrmecophaga (a szó görögül hangyaevőt jelent), Dél-Amerika nagy testű, földön járó hangyásza, amely alighanem a világon a legjobban specializálódott hangyaevő állat. Az ausztráliai erszéynes Myrcobiushoz hasonlóan ennek is hosszú, hegyes orra van, amely az ő esetében rendkívül hosszú és rendkívül hegyes, továbbá az átlagnál jóval hosszabb ragadós nyelve. Dél-Amerikában találjuk a kis testű, fára mászó hangyászt is, a Myrmecophaga közeli unokatestvérét, amely ez utóbbi miniatűr, kevésbé szélsőséges változatának tűnik, s amely egy harmadik, átmeneti alakot mutat. Jóllehet ezek a hangyászok méhlepényes emlősök, nagyon távol állnak óvilági rokonaiktól: kizárólag Dél-Amerikában található családhoz tartoznak, amelynek tagjai között találjuk az örvös tatut és a lajhárt is. Ez az ősi méhlepényes család már a kontinens elszigetelődésének kezdetétől fogva együtt élt az erszényesekkel.

Az óvilági hangyászok között találjuk (Afrikában és Ázsiában) a különböző tobzoskafajokat, amelyek valamennyien kissé a fenyőtobozra emlékeztetnek, de hegyes orruk van. Életmódjuk különböző, a fára mászástól a földtúrásig terjed. Ugyancsak Afrikában él a különös hangyászmedve, amely részben földtúrára szakosodott. Valamennyi hangyászra (az erszényesekre, a monotrémekre és a méhlepényesekre) egyaránt jellemző az anyagcsere rendkívüli lassúsága. Ez nem egyéb, mint az a mód, ahogyan a szervezet „elégeti” tápanyagait; ezt legkönnyebben a vér hőmérsékletén mérhetjük le. Általában megfigyelhető az emlősöknél, hogy anyagcseréjük sebessége a testméretükkel fordítva arányos: a kisebb állatok anyagcseréje többnyire gyors (hasonlóan a kisebb autó motorjához, amely a nagyokénál gyorsabban forog). Egyes állatoknak azonban testméretükhöz képest nagyon gyors az anyagcseréje; ezzel szemben, őseiktől és rokonságuktól függetlenül a hangyászok anyagcseréje általában lassú a testméretükhöz képest. Nem tudjuk pontosan ennek az okát, de ez a hasonlóság olyan feltűnő az egyébként egymással semmiféle kapcsolatban nem álló állatoknál, hogy szinte biztosan összefüggésbe hozhatjuk életmódjukkal.

Amint már említettük, a hangyászok nem mindig valódi hangyákat esznek: felfalják a termeszeket is. Ez utóbbiakat „fehér hangyáknak” nevezik, pedig a csótányok közeli rokonai, nem a valódi hangyákéi, amelyek a méhekkal és a darazsakkal állnak rokonságban. Felületesen nézve a termeszek azért hasonlítanak a hangyákra, mert a konvergens evolúció során ugyanazon viselkedéseket vették fel. Sőt inkább ugyanezen viselkedések halmazáról beszélnek, mivel a hangya–termesz technika számos különböző ágra bomlik, s mind a hangyák, mind a termeszek ezek többségét egymástól függetlenül vezették be. Mint a konvergáló evolúció esetében oly sokszor, itt is legalább annyit árulnak el a *különbségek*, mint a hasonlóságok.

A hangyák és a termeszek is nagy kolóniákban élnek, amelyek tagjainak többsége terméketlen, szárny nélküli dolgozó; ezek egyetlen feladata a

szárnyas, szaporodó kasztok hatékony ellátása. Ezek azután elrepülnek, és új kolóniákat alapítanak. Érdekes különbség a két faj között, hogy a hangyáknál a dolgozók kizárólag terméketlen nőtények, a természetnél pedig steril hímek és nőtények egyaránt vannak közöttük. Mind a hangya-, mind a természetnél egyetlen (ritkán több) megnagyobbodott testű királynőt találunk. Mindkét csoportban megtaláljuk a dolgozók speciális kasztját, például a katonákat. Ezek némelykor olyan mértékig szakosodtak a harcra, különösen óriási rágóikat tekintve (ez a hangyákra vonatkozik; a természetnél inkább a kémiai háborúra alkalmas „forgó kilövőtoronyról” beszélhetünk), hogy alkalmatlanná váltak önmaguk táplálására, s így a harcra alkalmatlan dolgozók etetik őket. A hangyák meghatározott fajainak hasonló fajok felelnek meg a természetnél. Így például egymástól függetlenül kialakult a gombatenyésztés szokása a hangyáknál (az Újvilágban) és a természetnél (Afrikában). A hangyák (vagy a természetes) felhalmozzák azokat a növényi anyagokat, amelyeket ők maguk nem tudnak megemészteni, ezeket komposztálják, és a komposzton megteremnek a gombák. A hangyák az utóbbiakat eszik. Mindkét esetben olyan gombákról van szó, amelyek kizárólag a hangyabolyban (illetve a természetvárakban) teremnek. A gombatenyésztés szokását több bogárfaj is – egymástól függetlenül és konvergáló módon (többször is) – felfedezte az idők folyamán.

A hangyákon belül is találunk érdekes konvergenciákat. Bár a legtöbb hangyatársadalom letelepedett életmódot folytat állandó helyű bolyban, a jelek szerint sikeresen alkalmazzák a hatalmas rablócsapatokban való vándorlást is. Ezt nevezzük légiós viselkedésnek. Természetesen valamennyi hangyafaj egyedei mozognak és gyűjtögetnek, a legtöbben azonban a zsákmánnyal visszatérnek a bolyba, a királynőhöz és az otthagytott ivadékhöz. A vándorló légiós viselkedés fő jellemzője viszont az, hogy a csapatok magukkal viszik az ivadékot és a királynőt. A tojásokat és a lárvákat a dolgozók állkapcsai között cipelik. Afrikában az úgynevezett harcos hangyák (*Dorylus*) fejlesztették ki ezt a légiós viselkedést. Közép- és Dél-Amerikában a megfelelő katonahangyák viselkedésükben és megjelenésükben is nagyon hasonlítanak az előbbiekhöz, jóllehet nincsenek egymással közelebbi rokonságban. Minden bizonnyal egymástól függetlenül, konvergáló módon fejlődött ki bennük a „harcias” technika.

Mindkét hangyafaj rendkívül nagy kolóniákban él: a harcos hangyák létszáma elérheti az egymilliót, a *Dorylusé* pedig körülbelül a húszmilliót. Mindkét fajban megtaláljuk a helyben maradó fázissal váltakozó nomád életszakaszt; az előbbi esetben viszonylag stabil táborokban élnek. Mindkét hangyafaj (vagy inkább a belőlük álló amőbaszerű kolóniák) a dzsungelben kíméletlen, hírhedt ragadozók. Mindkét faj kolóniai darabokra tépik az útjukba kerülő állatokat, s országaikban egyaránt rettegnak tőlük. Ismeretes, hogy Dél-Amerika egyes falvainak lakói már hagyományos módon kiürítik falvaikat, hátrahagynak csapat-papot, amikor a hangyasereg közeleg, s csak azután térnek vissza, miután a légiók átvonultak, megtisztítva

mindent a csótányoktól, pókoktól és skorpióktól (még a nádfonatos tetőkön is). Emlékszem, gyermekként Afrikában jobban féltem a *Dorylus* hangyáktól, mint az oroszlanoktól vagy a krokodiloktól. Érdemes helyére tenni ezt a félelmetes hírnevet. Idézzük Edward O. Wilson, a világ legkiválóbb hangyaszakértője és a *Szociobiológia* szerzője szavait:

„A hangyákkal kapcsolatos, leggyakrabban nekem szegezett kérdésre a következő válaszolhatom: nem, a *Dorylus* hangyák valójában nem az őserdő rémei. Igaz, egy ilyen hangyakolónia, mint egyetlen „állati” test, húsz kg-nál is többet nyom és körülbelül húszmillió szájból és fullánkból áll, s kétségkívül a rovarvilág legfélelmetesebb teremtménye, a valóságban messze elmarad a neki tulajdonított rémtettektől. Ez a menetelő hangyafolyam végül is körülbelül hárompercenként egy métert halad előre. Bármelyik valamirevaló erdei egér, nem beszélve az emberről vagy az elefántról, nyugodtan félreállhat az útjából és kénye-kedve szerint figyelheti nyüzsgésüket, amely sokkal inkább különös és csodálkozásra ingerlő, semmint fenyegető; olyan evolúciós történet csúcspontja ez, amely a fantázia legvégső határáig különbözik a bolygónkon az emlősök fejlődési vonalától.”

Már felnőttként Panamában magam is félreálltam, úgy figyeltem a *Dorylus* újvilági megfelelőjét, azét a *Dorylus*-ét, amelytől gyermekkoromban úgy féltem Afrikában. Pattogó patakként folyt el mellettem a hangyasereg, s magam is tanúsíthatom, milyen különös és csodálatos érzés volt, amely eltöltött. Órákon át meneteltek a légiók, egymás testén ugyanúgy végigtapostak, mint a földön, miközben a királynő megjelenésére vártam. Jött is végül, s megilletődve néztem. Pontosabban testét nem is lehetett látni: a dolgozók mozgó csomója takarta el, egymáshoz kapcsolódó végtagokkal „fortyogó” gömb. Valahol ott volt a dolgozók gömbjének közepén, miközben a hangyakatonák tömött sorai fenyegetően kifelé fordították rágóikat, készen arra, hogy királynőjük védelmében öljenek és meghaljanak. Bocsássák meg nekem, hogy mindenáron látni akartam a királynőt, s egy hosszú bottal szétpiszkáltam a dolgozók gömbjét, de nem sikerült napvilágra hozni a királynőt. Húsz katona azonnal ráharapott erős rágójával a botra, hogy talán soha ne engedje el, a többiek pedig tucattal rohantak fölfelé a boton, amelyet nagy sietve elengedtem.

Soha nem tudtam megpillantani a királynőt, pedig ott volt valahol, a kavargó gömb mélyén, az egész kolónia központi adatbankja, a mester-DNS őrzője. Ezek a rágóikat csattogtató katonák készek voltak meghalni a királynőért; nem azért, mert szerették anyjukat; nem azért, mert beléjük sulykolták a hazafiság eszményeit, hanem egyszerűen azért, mert agyuk és rágóik olyan gének alapján épültek fel, amelyek magának a királynőnek a génjeit sokszorosították. Azért viselkedtek bátor katonák módjára, mert sok-sok királynő ősük génjeit örökölték, s ezeket a géneket hozzájuk hasonlóan bátor katonák őrizték meg az utódok számára. Az általam látott katonák az akkori királynőtől ugyanazokat a géneket örökölték, mint az egykori katonák a királynő ősöktől. Ezek a katonák ugyanazon utasítások „mesterkópiáit” védelmezték, amelyek hatására az őrzés feladata vérükké

vált. Őseik bölcsességét őrizték, magát a „szent frigyládát”. A következő fejezetben megmagyarázom ezeket a különös állításokat.

Éreztem hát a különösséget és a csodálkozást, amelyhez mitagadás félig elfelejtett, most újból feltámadt félelmek társultak, ezt azonban mintegy átlényegítette és felnagyította az érett ember megértése, amelyet Afrikában gyermekként nélkülöztem; megértése annak, mi a lényege az egész színjáték-nak. A felnagyításhoz természetesen hozzájárult annak ismerete is, hogy a légióknak ez a története nem egyszer, hanem kétszer tette meg ugyanezt az evolúciós utat, egészen a csúcsig. Ezek nem gyermekkorom lidérces katonahangyái voltak, bármennyire hasonlítottak is azokhoz, hanem azok távoli, újvilági unokatestvérei. Ugyanazt tették, s ugyanazon oknál fogva, mint afrikai rokonaik. Beesteledett már, és hazafelé indultam, újra megilletődött gyermekként, de boldogan ebben a megértés által kialakított új világban, amely felváltotta bennem a sötét, afrikai félelmeket.

5. FEJEZET

A hatalom és a levéltárak

Odakint DNS-eső esik. Kertem lábánál az Oxford-csatorna partján áll egy nagy fűzfa, és pihés magokkal tölti meg a levegőt. Nincs állandó légmozgás, és így a magok minden irányban tovasodródhatnak a fától. A csatorna, ameddig csak távcsövemmel ellátok, lebegő, gyapjas foltoktól fehérlik, és biztosak lehetünk benne, hogy nagyjából ugyanekkora sugárban borítják a földet más irányokban is. A gyapot nagyrészt cellulózból áll, és eltörpül mellette az a kicsiny kapszula, amely a DNS-t, a genetikai információt tartalmazza. A DNS-tartalom kis töredéke az egésznek, miért mondom hát, hogy DNS esik, és nem cellulóz? A válasz az, hogy a DNS a fontos. A cellulóz pihe, noha jóval nagyobb tömegű, csupán ejtőernyő, használat után eldobandó. Az egész színjáték, a gyapot, a barkák, a fa és minden egyéb egy dolgot és csakis egy dolgot szolgál, a DNS tovaterjesztését a vidéken. Nem akármilyen DNS-ét, hanem olyanét, amelynek kódolt karakterei sajátos utasításokká állnak össze olyan fűzfák építésére, amelyek pelyhes magvak új nemzedékét hullatják majd. Azok a pihés foltok szó szerint önmaguk elkészítésének utasításait viszik szerte. Azért vannak ott, mert őseik sikerrel tették ugyanezt. Odakint utasításos esik; programos; fanövesztő, piheterjesztő algoritmusok esője. Ez nem metafora, ez maga az igazság. Akkor sem lehetne igazabb, ha floppy lemezek esője esne.

Mindez egyszerű és igaz, ám hosszú ideig mégsem értették meg. Néhány évvel ezelőtt, ha az ember megkérdezte szinte akármelyik biológust, mi a sajátossága az élő dolgoknak a nem élőkhöz képest, a protoplazmának nevezett különleges szubsztanciáról beszélt volna. A protoplazma nem hasonlít semmilyen más anyagra; eleven, vibráló, duzzadó, lüktető, „ingerlékeny” (a reagálókészség tanítónénis megfogalmazása). Ha veszünk egy élő testet és egyre kisebb és kisebb részekre daraboljuk, akkor végül is tiszta protoplazmadarabkákhöz jutunk el. Diákkoromban az idősebb tankönyvírók még mindig a protoplazmáról írtak, pedig addigra már jobban tudhatták volna. Manapság már nemigen találkozunk ezzel a szóval. Holt kifejezés, mint a flogiszton vagy az egyetemes éter. Nincs semmi különleges azokban az anyagokban, amelyekből az élő dolgok felépülnek. Az élő dolgok molekulák együttese, mint minden egyéb.

A különlegesség az, hogy ezek a molekulák sokkal bonyolultabb mintázatokba rendeződnek, mint a nem élő dolgok molekulái, s ez az összerendező-

dés programokat, a fejlődést előíró utasításkészleteket követ, amelyeket a szervezetek magukban hordoznak. Meglehet, hogy „ingerlékenységtől” vibrálnak, duzzadnak és lüktetnek, és „eleven” melegség sugárzik belőlük, ám mindezek a tulajdonságok mellékesen jelennek meg. Ami minden élő dolog mélyén rejlik, az nem valamiféle tűz, meleg lehelet, nem az „élet szikrája”. Hanem információ, szavak, utasítások. Ha hasonlóra vágyunk, ne gondoljunk tűzre, szikrákra vagy leheletre. Gondoljunk inkább kristálytáblácskákba vésett milliárdnyi, különálló, digitális jelre. Ha meg akarjuk érteni az életet, akkor ne vibráló, duzzadó kocsonyákról és iszapokról gondolkodjunk, hanem információtechnikáról. Erre céloztam az előző fejezetben, amikor a hangyakirálynőről mint központi adatbankról beszéltem.

A fejlett információtechnika alapkövetelménye valamilyen nagyszámú memóiahellyel rendelkező tárolóeszköz. Szükséges, hogy mindegyik hely diszkrét számú állapot valamelyikében lehessen. Ez mindenestre igaz arra a *digitális* információtechnikára, amely ma uralkodik művi világunkon. Az információtechnikának van egy alternatív típusa is, amely az *analóg* információn alapul. A közönséges hanglemezen tárolt információ analóg. Hullámos barázda tárolja. A modern lézerlemezen tárolt információ (a lézerlemezt gyakran nevezik kompakt lemeznek, ami kár, mivel ez a név keveset árul el) digitális, kicsiny gödröcskék sorozata tárolja, amelyek mindegyike vagy egyértelműen ott van, vagy egyértelműen nincs ott: középút nincs. Ez a digitális rendszer megkülönböztető jegye: alapelemei vagy határozottan az egyik állapotban vannak, vagy határozottan a másikban, félút, közbülső érték vagy kompromisszum nincs.

A gének információtechnikája digitális. Ezt a tényt Gregor Mendel fedezte fel a múlt században, jóllehet ő nem így fogalmazta volna meg. Mendel kimutatta, hogy nem keverjük két szülőnktől származó örökségünket. Örökségünket diszkrét részecskék formájában kapjuk. Ami az egyes részecskéket illeti, vagy örököljük őket, vagy nem. Tulajdonképpen, ahogy arra R. A. Fisher, a neodarwinizmusnak nevezett irányzat egyik alapító atyja rámutatott, a részecskés öröklődésnek ez a ténye mindig is a szemünk előtt volt, valahányszor a nemekre gondoltunk. Öröklünk ugyan tulajdonságokat hímnemű és nőnemű szülőtől, ám mindegyikünk vagy férfi vagy nő, és nem hermafrodita. Minden újszülött megközelítőleg egyenlő *valószínűséggel* örököl hímnemet vagy nőnemet, de minden baba csak ezek egyikét örököli, s nem kombinálja a kettőt. Ma már tudjuk, hogy ez áll az összes örökletes részecskékre. Nem keverednek, hanem diszkrétnek és elkülönültek maradnak, ahogy újra és újra átrendeződnek a nemzedékek során. Gyakori persze, hogy a keveredés látszata erőteljesen jelentkezik azokban a hatásokban, amelyeket a genetikai egységek testünkre gyakorolnak. Ha egy magas ember alacsony embert választ párjául vagy egy fekete egy fehéret, utóduk gyakran közbülső jellegű lesz. A keveredés látszata azonban csak a testre gyakorolt hatásokra áll, és nagyszámú részecske kicsiny hatásainak összegződéséből

származik. Maguk a részecskék különállóak és diszkrétnek maradnak, amikor arra kerül a sor, hogy átadódjanak a következő nemzedéknek.

A keveredő öröklés és a részecskés öröklés közti különbségtételnek nagy jelentősége volt az evolúciós eszmék történetében. Darwin idejében mindenki azt gondolta (kivéve Mendelt, aki a kolostorában dolgozott eldugottan, és munkája sajnos csak a halála után vált ismertté), hogy az öröklődés keveredő. Egy Fleeming Jenkin nevű skót mérnök kimutatta, hogy a keveredő öröklődés ténye (amit akkor ténynek hittek) szinte teljesen kizárja a természetes szelekciót mint az evolúció ésszerű elméletét. Ernst Mayr meglehetősen barátságtalanul megjegyzi, hogy Jenkin cikke „a fizikai tudományok összes szokásos előítéletére és félreértésére épült”. Darwint mindenestre mélyen aggasztotta Jenkin érve. Ez a legszínesebben abban a példázatban ölt testet, amelyben egy fehér ember egy „négerek” által lakott szigeten szenved hajótörést:

„Adjunk meg neki minden előnyt, amivel csak elképzeléseink szerint egy fehér ember a bennszülött fölött rendelkezhet; engedjük meg, hogy a létért folyó küzdelemben esélye a hosszú életre sokkal nagyobb legyen, mint a bennszülött főnököké; mindezekből azonban mégsem következik az a konklúzió, hogy korlátozott vagy korlátlan számú nemzedék után a sziget lakosai fehérek lesznek. Hajótörött hősünk-ből valószínűleg király lesz; sok-sok feketét fog megölni a létért folyó küzdelemben; sok felesége és gyereke lesz, míg alattvalói közül számosan aggregényekként élnek és halnak... Fehér emberünket tulajdonságai minden bizonnyal nagyban segítik abban, hogy magas kort érjen meg, ám mindez mégsem volna elegendő, hogy akárhány nemzedék múlva is alattvalói fehéreké váljanak... Az első nemzedékben lesz néhány tucat intelligens ifjú mulatt, akik jócskán fölötté állnak a négerek átlagos intelligenciájának. Számíthatunk rá, hogy a trónt néhány nemzedéken át többé-kevésbé sárga király foglalja el; ám hihet-e bárki is abban, hogy az egész sziget fokozatosan fehér vagy akár sárga népességre tesz szert, vagy hogy a szigetlakók birtokába jutnak annak az energiának, bátorságnak, szellemnek, türelemnek, önuralomnak, kitartásnak, amely tulajdonságok révén hősünk oly sokat megölt őseik közül, és oly sok gyermeket nemzett; valóban ezek azok a tulajdonságok, amelyeket a létért folyó küzdelem kiválasztana, ha bármit is kiválaszthatna?”

Ne vonják el figyelmünket a fehér felsőbbrendűségről vallott fajvédő feltevések. Ezek épp annyira minden kétség fölött álltak Jenkin és Darwin korában, mint a mi mai feltevéseink az *emberi jogokról* és emberi méltóságról és az *emberi élet szentségéről*. Jenkin érvelését átfogalmazhatnánk semlegesebb analógiát felhasználva is. Ha fehér festéket fekete festékkel keverünk, szürke festéket kapunk. Ha szürke festéket szürke festékkel keverünk, nem állíthatjuk újra elő sem az eredeti fehéret, sem az eredeti feketét. A festékek keverése nem áll távol az öröklődés Mendel előtti elképzelésétől, és még ma is közkeletű az öröklődést a „vér” keveredéseként megfogalmazni. Jenkin érve a szétfolyás mellett szól. A nemzedékek váltakozásával a keveredő öröklődés feltevése szerint a változékonyságnak szét kell folynia. Egyre nagyobb és nagyobb egyöntetűség válik uralkodóvá. Végül nem

marad változékonyság, amely a természetes kiválasztódásnak alapot adhatna.

Bármilyen ésszerűnek is hangozhatott ez az érv, nem csupán a természetes kiválasztódással száll szembe. Inkább az öröklődéssel magával kapcsolatos kikerülhetetlen tényekkel szembeni érv! Láthatóan *nem igaz*, hogy a nemzedékek váltakozásával a változékonyság eltűnik. Az emberek *nem* hasonlatosabbak egymáshoz ma, mint amennyire nagyszüleik idejében voltak. A változékonyság fennmarad. Megvan a változékonyság készlete, amellyel a szelekció dolgozni tud. Ezt 1908-ban matematikailag is kimutatta W. Weinberg, és tőle függetlenül a különöc matematikus, G. H. Hardy is, aki mellesleg az ő (és az én) kollégiumom fogadásokat feljegyző könyve szerint egy kollégájával fél pennyben fogadott haláláig gyűjtött vagyona ellenében, hogy a nap fölkel másnap. De R. A. Fisherre és munkatársaira, a modern populációgenetika megalapítóira várt, hogy a teljes választ kidolgozzák Fleeming Jenkin érvére a *részecskegenetika* Mendel-féle elmélete alapján. Ez a sors iróniája volt, mivel, amint a 11. fejezetben látni fogjuk, a XX. század elején Mendel fő követői magukat antidarwinistáknak gondolták. Fisher és munkatársai kimutatták, hogy a darwini kiválasztódásnak értelme van, és Jenkin problémája elegáns megoldást nyer, ha az evolúció során a diszkrét örökletes részecskék vagy gének *relatív gyakorisága* változik, amely gének mindegyike vagy jelen van, vagy nem, bármelyik adott egyedi testben. A Fisher utáni darwinizmust neodarwinizmusnak nevezik. Digitális jellege nem véletlen tény, amely történetesen igaz a genetikai információtechnikára. A digitalitás valószínűleg szükséges feltétele a darwinizmus működőképességének.

Elektronikus technológiánkban a diszkrét digitális helyeknek csupán két állapotuk van, amelyeket konvencionálisan 0-val és 1-gyel jelölünk, noha elképzelhetnénk őket magasként és alacsonyként, bekapcsoltként és kikapcsoltként, föntiként és lentiként is: csupán az a fontos, hogy egymástól elkülönüljenek, és hogy állapotaik mintázatát „leolvashassuk”, s így valamilyen hatással lehessenek valamire. Az elektronikus technika különféle fizikai eszközöket használ az egyesek és nullák tárolására, egyebek között mágneslemezeket, mágnesszalagokat, lyukkártyákat és lyukszalagokat, valamint chipeket, amelyekben kicsiny félvezető egységek tömegei vannak.

A fűzmagok, a hangyák és minden egyéb élő sejt belsejében levő fő tárolóeszköz nem elektronikus, hanem kémiai. Azt a tényt használják ki, hogy bizonyos molekulatípusok képesek a polimerizálódásra, azaz meghatározatlan hosszúságú láncokba kapcsolódásra. Rengeteg különféle polimer létezik. A polietilén például az etilén nevű kis molekula hosszú láncából áll: ez a polimerizált etilén. A keményítő és a cellulóz polimerizált cukor. Vannak polimerek, amelyek nem egyetlen kis molekulából, például etilénből álló egyöntetű láncok, hanem két vagy több különböző, kis molekula építi fel őket. Amint az ilyen heterogenitás megjelenik egy polimer láncban, az információtárolás azon nyomban elméleti lehetőséggé válik. Ha már kétféle

kis molekula van a láncban, akkor az egyiket megfeleltethetjük egynek, a másikat nullának, és nyomban bármilyen mennyiségű, bármilyen típusú információ tárolható, feltéve, hogy a lánc elég hosszú. Az élő sejtekben használt polimerek konkrét formáit polinukleotidoknak nevezzük. Az élő sejtekben a polinukleotidoknak két fő családját találjuk, amelyeket röviden DNS-nek és RNS-nek hívunk. Mindkettő a nukleotidoknak nevezett kis molekulák lánc. Mind a DNS-ek, mind az RNS-ek heterogén láncok, amelyekben négy különböző nukleotiddal találkozunk. Természetesen ebben rejlik az információátvitel lehetősége. A két állapot, az egy és a nulla helyett az élő sejtek információtechnikája négy állapotot alkalmaz, amelyeket konvencionálisan A, T, C és G betűvel jelölhetünk. Elvben nagyon csekély különbség van a mi információtechnikánk kétállapotú bináris információja és az élő sejt négyállapotú információs technikája között.

Amint az 1. fejezet végén már említettem, egyetlen emberi sejtben elegendő információátviteli kapacitás van ahhoz, hogy az Encyclopaedia Britannica 30 kötetét háromszor vagy négyszer tárolja. Nem ismerem a fűzmag vagy a hangya megfelelő adatait, de bizonyára ugyanennyire megdöbbentőek. Egyetlen liliummag vagy egyetlen szalamandra-ondósejt DNS-ében elegendő tárolókapacitás van ahhoz, hogy az Encyclopaedia Britannica hatvan-szor beleférjen. Az igazságtalanul „primitívnek” nevezett amőbák némely faja DNS-ében annyi információ van, mint ezer Encyclopaedia Britannicában.

Meglepő módon például az emberi sejtek genetikai információjának csupán körülbelül egy százaléka az, amit ténylegesen felhasználunk: ez durván egyenértékű az Encyclopaedia Britannica egyetlen kötetével. Senki sem tudja, hogy a másik 99 százalék miért van ott. Egy korábbi könyvemben fölvettem, hogy ezek esetleg élősködők, az egy százalék potyautasai, s ez az elmélet újabban az „önző DNS” név alatt terjed a molekuláris biológusok körében. Egy baktériumnak az emberi sejténél körülbelül ezerszer kisebb információátviteli kapacitása van, s ennek valószínűleg majdnem teljes egészét fölhasználja: nem sok hely marad az élősködők számára. DNS-e „csak” az Újszövetség egyetlen példányát képes tárolni!

A modern génszobák már megvan a technikájuk arra, hogy az Újszövetséget vagy bármi egyebet beleírják egy baktérium DNS-ébe. Bármely információs technika szimbólumainak jelentése önkényes, és semmi akadálya, hogy a DNS négybetűs ábécéjének kombinációit, mondjuk harmasait, rendeljük hozzá a mi 26 betűs ábécénkhez (volna elegendő hely az összes kisbetűnek és nagybetűnek, valamint 12 központozási karakternek). Sajnos körülbelül 5 évszázadra volna szükség, hogy az Újszövetséget egy baktériumba beírjuk, ezért kétlem, hogy bárki is venné a fáradságot. Ha mégis, akkor a baktériumok szaporodási sebessége akkora, hogy az Újszövetség tízmillió példánya kerülne ki egyetlen nap alatt, ami a misszionáriusok álma lehetne, ha az emberek el tudnák olvasni a DNS-ábécét, de sajna,

a karakterek olyan kicsinyek, hogy az Újszövetség tízmillió példánya férne el egy tű hegyén.

Az elektronikus számítógép memóriáját ROM és RAM osztályokba szokás sorolni. A ROM a „read only” (csak olvasásra szolgáló) memória rövidítése. Pontosabban fogalmazva: egyszer írható, sokszor olvasható memória. A nullák és egyesek mintázatát a gyártáskor egyszer s mindenkorra beleégetik. Változatlan marad tehát a memória élete során, és az információ akárhányszor kiolvasható belőle. A másik fajta elektronikus memóriába – amit RAM-nak nevezünk – be is lehet írni (hamarosan megszokjuk ezt a slamos számítógépes zsargont) ugyanúgy, ahogy olvasni lehet belőle. A RAM tehát mindenre képes, amire a ROM, de még többre is. Tulajdonképpen félrevezető, amit a RAM rövidítés jelöl, ezért nem is említtem. A lényeg az, hogy az egyesek és nullák bármely jelsorrendjét bármelyik részébe bevihetjük, ahányszor csak kívánjuk. A számítógép memóriájának legnagyobb része RAM. Miközben ezeket a szavakat gépelem, azok egyenesen a RAM-ba mennek, s a dolgokat irányító szövegszerkesztő programot is a RAM tárolja, jóllehet elméletben beégethető a ROM-ba, s akkor soha többet nem változtatható meg. A ROM-ot az alapprogramok rögzített repertoárjaként használjuk, amelyekre újra és újra szükségünk van, s amelyeket ha akarjuk sem változtathatunk meg.

A DNS ROM. Sok milliószor kiolvasható, de csak egyszer lehet beírni – akkor, amikor a sejt születésekor első ízben összeáll. Bármely egyed sejtjeibe a DNS „be van égetve”, és az illető élete során sohasem változik, eltekintve nagyon ritka, véletlenszerű hibáktól. Viszont másolható. Minden sejtosztódáskor megkettőződik. Az A, T, C és G nukleotidok mintázatáról hű másolat készül a milliárdnyi új sejt mindegyikének DNS-ébe, amelyek a csecsemő növekedésekor létrejönnek. Amikor egy új egyén megfogam, új és egyedi adatmintázat „ég bele” DNS ROM-jába, s ennél a mintázatnál azután meg is marad élete hátralevő részében. Összes sejtjébe átmásolódik (kivéve szaporítósejtjeit, amelyekbe, mint látni fogjuk, DNS-ének csak az egyik véletlenszerűen vett fele másolódik át).

Minden számítógépes memória, akár ROM, akár RAM, *meg van címezve*. Ez azt jelenti, hogy a memóriában minden helynek címkéje van, ami rendszerint egy szám, ám ez csupán önkényes megegyezés. Fontos megértenünk a különbséget egy memóriahely *címe* és *tartalma* között. Minden helyet a címről ismerünk. Például ennek a fejezetnek az első két betűje, „Od”, ebben a pillanatban számítógépem 6446 és 6447 RAM helyein csücsülnek, számítógépemnek pedig összesen 65 536 RAM helye van. Más alkalommal e két hely tartalma más lesz. Egy hely tartalma az, amit legutoljára írtak bele. Minden ROM helynek is van címe és tartalma. A különbség az, hogy minden egyes helynek egyszer s mindenkorra megmarad a tartalma.

A DNS fonalszerű kromoszómákba rendeződik, amelyek olyanok, mint hosszú számítógépi mágnesszalagok. Minden egyes sejtünkben az összes DNS *meg van címezve* ugyanabban az értelemben, ahogyan a számítógép

ROM-ja vagy a számítógép mágnesszalagja címezve van. Az egy adott cím jelölésére szolgáló pontos számok vagy nevek önkényesek, éppúgy, mint a számítógép memóriájának esetében. Csupán az a fontos, hogy az én DNS-emnek egy adott helye pontosan megfeleljen az ön DNS-e egy adott helyének: ugyanaz legyen a címük. Az én 321 762-es DNS-helyem *tartalma* lehet azonos is meg nem is az ön 321 762-es helyének tartalmával. De az én 321 762-es helyem pontosan ugyanazt a pozíciót foglalja el az én sejtjeimben, mint az ön 321 762-es helye az ön sejtjeiben. A pozíció itt egy adott kromoszóma mentén elfoglalt helyzetet jelent. A kromoszóma pontos fizikai elhelyezkedése egy sejtben nem számít. A kromoszóma voltaképpen folyadékban lebeg, s így fizikai elhelyezkedése változik, ám minden hely lineáris sorrendben pontosan meg van címezve a kromoszóma mentén éppúgy, ahogy egy számítógép mágnesszalagján minden hely pontosan címezve van még akkor is, ha a szalag szanaszét hever a földön, és nem szépen föltekerve találjuk. Mindannyian, minden emberi lény a *DNS-címek* azonos készletével rendelkezünk, a *tartalmak* azonban nem szükségképpen azonosak ezeken a címeket. Ez a legfőbb oka annak, hogy mindannyian különbözünk egymástól.

Más fajoknak nem ugyanaz a *címkészletük*. A csimpánzoknak például 48 kromoszómájuk van a mi 46 kromoszómánkkal szemben. Szigorúan véve nem hasonlíthatók össze a tartalmak címről címre, mivel a fajok között a címek nem felelnek meg egymásnak. Az egymással szoros rokonságban álló fajok esetében azonban, amilyenek a csimpánzok és az emberek is, olyan nagy közös darabokkal találkozunk, hogy könnyen tekinthetjük őket alapjában azonosaknak, még akkor is, ha nem alkalmazhatjuk pontosan ugyanazt a címezési rendszert a két faj esetében. Egy fajt az határoz meg, hogy a DNS-nek minden tagjában azonos a címezési rendszere. Néhány kisebb kivételtől eltekintve az összes tagnak azonos számú kromoszómája van és a kromoszóma mentén minden helynek megvan a maga egzakt párja, a faj minden más tagjának megfelelő kromoszómája mentén ugyanabban a pozícióban. Egy faj tagjai között e helyek tartalmában lehet különbség.

A különböző egyéneknél a tartalmak különbségei a következő módon jönnek létre, és itt hangsúlyoznom kell, hogy ivaros úton szaporodó fajokról beszélek, amilyen a mienk is. Ondósejtjeink vagy petesejtjeink mindegyike 23 kromoszómát tartalmaz. Az egyik ondósejtben minden egyes megcímzett hely megfelel egy adott megcímzett helynek minden más ondósejtben, és az ön minden más petesejtjében (vagy ondósejtjében). Az összes többi sejt 46 kromoszómát – kettős készletet – tartalmaz. Ugyanazok a címek kétszer fordulnak elő e sejtek mindegyikében. Minden sejtben két 9-es kromoszóma és a 9-es kromoszóma mentén mondjuk a 7230-as hely két változata található. A kettő tartalma lehet azonos is meg nem is éppúgy, ahogy lehet azonos is meg nem is a faj más tagjaiban. Amikor egy ondósejt a maga 23 kromoszómájával létrejön egy 46 kromoszómás testi sejtből, akkor az egyes címzett helyek két példányából csupán az egyiket kapja meg. Hogy ez melyik lesz,

azt véletlennek tekinthetjük. Ugyanez áll a petesejtekre. Ennek az az eredménye, hogy minden ondósejt és minden petesejt egyedülálló helyeinek *tartalmát tekintve*, jóllehet címzési rendszerük a faj minden tagjában azonos (kisebb kivételektől eltekintve, amelyek nem kell, hogy zavarjanak bennünket). Amikor egy ondósejt megtermékenyít egy petesejtet, akkor természetesen a 46 kromoszóma teljes készlete áll össze, s az összes 46 azután átmásolódik a fejlődő embrió minden sejtjébe.

Azt mondtam, hogy a ROM-ba nem írhatunk bele, csak amikor első ízben előállítjuk, s ez igaz a sejtek DNS-ére is, alkalmi véletlenszerű másolási hibáktól eltekintve. Egy bizonyos értelemben azonban a teljes faj ROM-jaiból álló adatbankba alkotó módon beírhatunk. A fajon belül az egyedek nem véletlenszerű életben maradása és szaporodásuk sikere a nemzedékek váltakozása során a fennmaradás egyre tökéletesebb utasításait „írja” bele a faj kollektív genetikai memóriájába. Egy fajban az evolúciós változás nagyrészt annak változásaiból áll, hogy az egyes címzett DNS-helyeken a nemzedékek során a különböző lehetséges *tartalmak* mindegyikének hány másolata van. Természetesen bármely adott pillanatban minden másolatnak egy egyedi test belsejében kell lennie. Az evolúcióban azonban az a fontos, hogy milyen változások vannak a *populációkban* az egyes címeken lehetséges alternatív tartalmak gyakoriságában. A címzési rendszer ugyanaz marad, de a helyek tartalmának statisztikai profilja változik a századok során.

Igen ritkán maga a címzési rendszer is megváltozik. A csimpánzoknak 24 kromoszómapárjuk van, nekünk 23. A csimpánzokkal közösek az őseink, így tehát egyszer vagy a mi őseinknél, vagy a csimpánzokéinál meg kellett változnia a kromoszómák számának. Vagy mi veszítettünk egy kromoszómát (kettő összeolvadt), vagy a csimpánzok nyertek egyet (egy kettévált). Kellett lenni legalább egy egyednek, amelynek eltért a kromoszómaszáma a szüleiétől. Más alkalmi változásokra is sor kerül az egész genetikai rendszerben. Mint látni fogjuk, néha egész kódsorozatok másolódhatnak át tökéletesen eltérő kromoszómákra. Ezt onnan tudjuk, hogy a kromoszómák körül szétszórva a DNS-szöveg hosszú láncával találkozunk, amelyek azonosak.

Amikor egy számítógép memóriájában egy adott helyről kiolvassuk az információt, két dolog egyike történhet. Vagy egyszerűen átírhatjuk máshová, vagy valamilyen „akcióban” vehet részt. Ha máshová írjuk, ez azt jelenti, hogy lemásoljuk. Már láttuk, hogy a DNS könnyen átmásolható egyik sejtől egy új sejtbe, s hogy a DNS darabjai átmásolhatók az egyik egyénből egy másik egyénbe, nevezetesen a gyerekébe. Az „akció” bonyolultabb. A számítógépekben az akciók egyik típusa a programutasítások végrehajtása. Számítógépem ROM-jában a 64 489, 64 490-es és 64 491-es helyek együttesen tartalmak egy adott mintázatot foglalják magukban: egyeseket és nullákat, amelyek amikor utasításokként értelmezzük őket, a számítógép kicsiny hangszóróját egy csipogó hang kiadására készítetik. Ez a bitmintázat 10101101 00110000 11000000. Ennek a bitmintázatnak önmagában semmi-

féle csipogó vagy zajos jellege nincs. Semmi sem árulja el, hogy milyen hatással lesz a hangszóróra. Ezt a hatást csupán a számítógép többi részének huzalozása idézi elő. A DNS négybetűs kódjának ugyanígy van hatása például a szem színére vagy a magatartásra, ezek a hatások azonban nem magukban a DNS adatmintázatokban rejlenek. Hatásukat csak az embrió fejlődésének többi része hozza létre, amit viszont a DNS más részeinek mintázatai befolyásolnak. A gének ilyen kölcsönhatása lesz a 7. fejezet fő témája.

A DNS-kód szimbólumait le kell fordítani egy másik közvetítő eszközre, mielőtt bármiféle akcióban részt vehetnénk. Először pontosan megegyező RNS-szimbólumokkal írónak át. Az RNS-nek is négybetűs ábécéje van. Erről másfajta polimerre fordítódnak le, amelyet polipeptidnek vagy fehérjének nevezünk. Nevezhetnénk poliaminosavnak is, mert alapegységei az aminosavak. Az élő sejtekben húszféle aminosav van. Az összes biológiai fehérje ebből a húsz alapelemből felépülő lánc. Noha a fehérje aminosavak lánc, legtöbbjük nem marad meg hosszú fonal gyanánt. Minden lánc bonyolult gombolyaggá tekeredik föl, amelynek pontos alakját az aminosavak sorrendje szabja meg. Ez az alak ezért az aminosavak adott sorrendje esetén mindig állandó. Az aminosavak sorrendjét azután pontosan meghatározzák a DNS egy szakaszának kódszimbólumai (az RNS-en, mint közvetítőn keresztül). Bizonyos értelemben tehát a fehérje háromdimenziós föltekereedett alakját a DNS-kód szimbólumainak egydimenziós sorrendje határozza meg.

A fordítási eljárás testesíti meg a híres hárombetűs *genetikai kódot*. Ez olyan szótár, amelyben a DNS (vagy az RNS) szimbólumainak 64 ($4 \times 4 \times 4$) lehetséges *hármasa* le van fordítva a húsz aminosavra vagy egy „olvasás vége” szimbólumra. A pontot három ilyen „olvasás vége” jel képviseli. Sok aminosavat egynél több hármassal kódol (amit sejtethünk abból a tényből, hogy 64 hármassal van és csupán 20 aminosav). Az egész fordítás a szigorúan szekvenciális DNS ROM-ról a pontosan állandó, háromdimenziós fehérjealakra a digitális információtechnika figyelemre méltó teljesítménye. Kissé kevésbé nyilvánvaló a számítógépszerűsége az ezt követő lépéseknek, amelyek által a gének befolyásolják a testek tulajdonságait.

Minden élő sejt, még egyetlen baktériumsejt is gigantikus vegyi gyárként képzelhető el. A DNS-mintázatok vagy gének azáltal fejtik ki hatásukat, hogy befolyásolják az események lefolyását a vegyi gyárban, ezt pedig a fehérjemolekulák háromdimenziós alakjának befolyásolásán keresztül érik el. A gigantikus szó talán meglepőnek tűnhet, ha egy sejtre használjuk, különösen ha eszünkbe jut, hogy 10 millió baktériumsejt fér el egy tű hegyén. Ám azt se felejtjük el, hogy ezeknek a sejteknek mindegyike képes az Újszövetség teljes szövegét magába foglalni, sőt igazán gigantikus akkor, ha a benne levő bonyolult gépezetek számával mérjük. Minden gép egy nagy fehérjemolekula, amelyet egy adott DNS-szakasz hatása alatt szereltek össze. Az enzimeknek nevezett fehérjemolekulák abban az értelemben gé-

pek, hogy mindegyikük egy adott vegyi reakciót idéz elő. A fehérjégek minden egyes fajtája a saját vegyi termékét köpüli ki. Ehhez olyan nyersanyagokat használ fel, amelyek a sejtben találhatóak, s amelyek nagy valószínűséggel más fehérjégek termékei. Hogy fogalmunk legyen ezeknek a fehérjégeknek a méretéről, mindegyik körülbelül 6000 atomból épül föl, ami molekulamértékkel meglehetősen nagy. Körülbelül egymillió van egy sejtben ezekből a nagy apparátusokból, és több mint 2000 különböző fajtájuk fordul elő, amelyek mindegyike a vegyi gyár egy adott műveletére specializálódott. Az ilyen enzimek jellegzetes kémiai termékei adják egy sejtnak az egyéni alakját és viselkedését.

Mivel az összes testi sejt ugyanazokat a géneket tartalmazza, meglepőnek tűnhet, hogy nem egyformák. Ennek az az oka, hogy a gének más-más alkalmazait *olvassák el* a különböző sejttypusokban, a többit pedig figyelmen kívül hagyják. A májsejtekben nem olvassák el a DNS ROM-nak a vese felépítésére nézve specifikus részeit, és viszont. Egy sejt alakja és viselkedése attól függ, hogy az illető sejten belül mely géneket olvassák le és fordítják le fehérjetermékekre. Ez pedig a már meglevő vegyi anyagoktól függ, amit részben az befolyásol, hogy korábban mely géneket olvasták el a sejtben, részben pedig a szomszédos sejtektől. Amikor egy sejt kettéosztódik, a két leánysejt nem szükségképpen egyforma. Az eredeti megtermékenyített petesejtben például bizonyos kémiai anyagok a sejt egyik végében halmozódnak fel, mások a másokban. Amikor egy ilyen polarizált sejt osztozik, a két leánysejtben eltérően oszlanak meg a különböző kémiai anyagok. Ez azt jelenti, hogy eltérő géneket fognak a két leánysejtben leolvasni, és így kezdetét veszi a fejlődés önmagát erősítő széttartása. Az egész test végső alakja, a végtagok mérete, az agyi kapcsolatok kialakulása, a viselkedésmintázatok időzítése mind a különféle sejtek közti kölcsönhatások közvetett következménye, a különbségek pedig abból erednek, hogy más-más géneket olvasnak ki. Ezeket a széttartó folyamatokat a 3. fejezet rekurzív eljárásának módjára legjobban helyi autonómiákként képzelhetjük el, és nem valamilyen koordinált, nagy, központi tervként.

Az „akció” az ebben a fejezetben használt értelemben az, amit a genetikus egy gén fenotípusos hatásának nevez. A DNS-nek hatása van a testre, a szem színére, a haj göndörségére, az agresszív magatartás erejére és egyéb tulajdonságok ezreire, amelyeket együttesen fenotípusos hatásoknak nevezünk. A DNS ezeket a hatásokat kezdetben helyben fejt ki, miután az RNS leolvasta és lefordította fehérjeláncokra, amelyek azután hatással vannak a sejt alakjára és viselkedésére. Ez az egyik azon két mód közül, amellyel a DNS mintázatában kódolt információ leolvasható. A másik mód a megketőződés egy új DNS-szál kialakításával. Ez a korábban tárgyalt másolás.

Alapvető különbség van a DNS információátvitelnek e két útja között, a vertikális (függőleges) és a horizontális (vízszintes) átvitel között. Az információ átvitele vertikálisan más DNS-be olyan sejtekben zajlik, amelyek más sejteket – ondósejteket vagy petesejteket – készítenek. Ennélfogva

az információ a következő nemzedékbe kerül át, majd ismét csak vertikálisan a jövőendő nemzedékek sokaságába. Ezt „levéltári DNS-nek” fogom nevezni, amely potenciálisan halhatatlan. Csírvonalnak nevezzük a sejteknek azt az egymást követő sorát, amelyeken át a levéltári DNS utazik. A csírvonal egy testen belül azoknak a sejteknek a halmaza, amelyek az ondósejtek vagy a petesejtek, s ennél fogva a jövőendő nemzedékek elődei. A DNS átadódik *oldalirányban* is vagy horizontálisan: nem a csírvonalba eső sejtekbe, például májsejtekbe vagy bőrsejtekbe; az ilyen sejteken belül átadódik az RNS-be, innen a fehérjébe, ahonnan az embrionális fejlődésre s ennél fogva a felnőtt alakra és viselkedésre gyakorolt hatásai erednek. A horizontális és a vertikális átvitel megfelel a 3. fejezetben FEJLŐDÉS-NEK és SZAPORODÁSNAK nevezett két alprogramnak.

A természetes kiválasztódás abban áll, hogy az egymással vetélkedő DNS-ek eltérő sikerrel juttatják magukat tovább vertikálisan a faj levéltárában. A „rivális DNS” a faj kromoszómaiban adott címeken található alternatív tartalmakat jelent. Bizonyos gének nagyobb sikerrel maradnak meg a levéltárban, mint riváisaik. Noha a siker végső soron a *vertikális* átvitelt jelenti a faj levéltárában, a siker ismérve normális körülmények között az az *akció*, amelyet a gének *oldalirányú* átvitelük révén a testekre kifejtenek. Ez is pontosan olyan, mint a biomorf számítógépes modellje. Tegyük fel például, hogy van a tigrisekben egy konkrét gén, amely az állkapocs sejtjeire gyakorolt oldalirányú hatás révén a fogakat kissé élesebbé teszi, mint amilyenekké egy rivális gén hatása alatt válnának. A különlegesen éles fogú tigris hatásosabban képes megölni a prédát, mint a normális tigris; ennél fogva több utóda lesz; emiatt vertikálisan több másolatát adja tovább annak a génnek, amely az éles fogak kifejlődéséért felelős. Ugyanakkor természetesen az összes többi génjét is továbbadja, *átlagosan* azonban csak a specifikus „élesfog-gén” fog felbukkanni az éles fogú tigrisek testében. Maga a gén előnyre tesz szert a vertikális átvitel alapján azokból az átlag hatásokból, amelyeket egy egész sor testre gyakorol.

A DNS levéltári közvetítőeszközként látványos teljesítményt mutat. Egy üzenet fenntartására való képességében messze túlszárnyalja a kódtáblákat. A teheneknek és a borsónövénynek (sőt mindannyiunknak) van egy szinte azonos génjük, amelyet H4 hisztongénnek nevezünk. A DNS-szöveg 306 karakter hosszúságú. Nem mondhatjuk, hogy az összes fajban ugyanazokat a címeket foglalják el, mivel nincs módunk a címek címkéinek fajok közötti értelmes összehasonlítására. Azt azonban állíthatjuk, hogy van a tehenekben egy 306 karakterből álló lánc, amely szinte teljesen azonos a bab 306 karakterből álló láncával. Ebben a 306 tagú láncban csupán két olyan karakter van, amely a teheneknél és a babnál eltér. Nem tudjuk pontosan, hogy mennyi idővel ezelőtt élt a tehenek és a babok közös őse, de a leletekből arra lehet következtetni, hogy valamikor ezer- és kétezermillió évvel ezelőtt élhetett. Mondjuk, hogy másfélmillió évvel ezelőtt. Ez alatt az (emberek számára) elképzelhetetlenül hosszú idő alatt a távoli őstől leágazó két szár-

mazási vonal a 306 karakterből 305-öt megőrzött (átlagban: úgy is lehetne, hogy az egyik vonal megőrizte mind a 306-ot, a másik pedig 304-et). A sírkövekbe vésett betűk néhány száz év alatt olvashatatlaná kopnak.

A H4 hiszton DNS-dokumentum megőrzése bizonyos értelemben még imponálóbb, mivel a kőtabláktól eltérően nem ugyanaz a fizikai szerkezet marad fenn és őrzi meg a szöveget. A nemzedékek során újra és újra átmásolták, mint a héber szent szövegeket, amelyeket az írástudók minden 80. évben rituálisan átmásoltak, hogy megóvják az elnyűvéstől. Nehéz megbecsülni, hogy pontosan hányszor másolták át a H4 hisztondokumentumot a babbal való közös őstől a tehénekhez vezető származási vonal mentén, de valószínűleg 20 milliárdszor. Nehéz olyan mércét találnunk, amelyhez az információ több mint 99 százalékanak 20 milliárd egymást követő másolás alatti megőrzését viszonyítani tudnánk. Megpróbálhatjuk a fülbesúgó játék egy változatát alkalmazni. Képzeljük el, hogy 20 milliárd gépiró ül egy sorban. A gépirók sora pontosan 500-szor érne körül a Földet. Az első gépiró leírja a dokumentum egy oldalát és átadja a szomszédjának. Az is lemásolja, és az általa készített másolatot tovább adja a következőnek. Az is lemásolja, és a másolatot megint tovább adja a következőnek és így tovább. Végül az üzenet eléri a sor végét, és mi elolvassuk (vagy inkább a tizenkétezredik dédunokánk, feltételezve, hogy az összes gépiró egy jó titkárnő sebességével ír). Mennyire hű változata volna ez vajon az eredeti üzenetnek?

Ahhoz, hogy erre a kérdésre válaszolhassunk, bizonyos feltevésekkel kell élnünk a gépirók pontosságáról. Fordítsuk meg a kérdést. Mennyire jól kell az egyes gépiróknak dolgozniuk ahhoz, hogy teljesítményük fogható legyen a DNS-éhez? A válasz olyan nevetséges, hogy talán jobb ki sem mondani. Ehhez ugyanis az kellene, hogy minden gépiró hibázási gyakorisága egy a trillióhoz legyen; azaz csupán egyetlen hibát volna szabad vétenie, miközben a Bibliát egyhuzamban kétszázötvenezeryszer legépendi. Ez körülbelül félmilliárdszor nagyobb, mint a H4 hisztogén hibaaránya. Ha valóságos titkárnők ülnének a sorban, akkor az eredeti betűknek már csak 99 százaléka maradna meg hűen, mire a húszmilliárd tagú sor huszadik tagjához elérne. A sor tízezredik tagját az eredeti szövegnek kevesebb mint egy százaléka érne csak el. A szöveg a közel teljes leromlásnak ezt a pontját az előtt éri el, hogy a gépirók 99,99995 százaléka akár csak látta volna.

Ebben az egész összehasonlításban volt egy kis csalás, de érdekes és tanulságos módon. Azt a benyomást keltettem, hogy másolási hibákat mérünk. Ám a H4 hisztondokumentumot nem egyszerűen másolták, hanem a természetes szelekciónak vetették alá. A hiszton létfontosságú. A kromoszómák szerkezeti felépítéséhez használjuk. Lehetséges, hogy a H4 hisztogén *másolása* során sokkal több hiba történt, ám a mutáns szervezetek nem maradtak életben vagy legalábbis nem szaporodtak. Hogy az összehasonlítás méltányos legyen, fel kellene tételeznünk, hogy minden gépiró székébe be van építve egy pisztoly, amely úgy van bekötve, hogy ha hibázik, rövid

úton lelövi, s a helyét egy tartalék gépíró veszi át (finnyásabb olvasók esetleg szívesebben képzelnék el úgy, hogy egy rugós szék gyengéden katapultálja a bűnös gépírót a sorból, a pisztoly azonban valóságosabb képet fest a természetes szelekcióról).

A DNS megőrzőképességének az a mérési módszere tehát, amely a biológiai idő alatt ténylegesen előforduló változások számát veszi tekintetbe, összevonja a valódi másolási hűséget a természetes szelekció szűrőhatásával. Mi csak a sikeres DNS-változások leszármazottjait látjuk. Azok, amelyek halált okoztak, nyilvánvalóan nincsenek köztük. Meg tudjuk-e mérni a tényleges másolási hűséget az alapszinten, mielőtt a természetes szelekció működésbe lépne a gének egyes új nemzedékein? Igen, ez a fordítottja a mutációs gyakoriságnak, és mérhető. Annak a valószínűsége, hogy bármely adott betűt bármely másolási alkalommal elhibáznak, kicsivel több, mint egy a milliárdhoz. A különbség e mutációs gyakoriság és aközött az alacsonyabb gyakoriság között, amellyel a változás valóban testet ölt a hisztongénben az evolúció során, a természetes szelekció hatékonyságának mértéke ennek az ősi dokumentumnak a megóvása tekintetében.

A hisztongén fennmaradási készsége hosszú földtörténeti korokon át genetikai mércével is kivételes. Más gének nagyobb gyakorisággal változnak, feltehetően azért, mert a természetes kiválasztódás türelmesebb változásaik irányában. A fibrinopeptidekként ismert fehérjéket kódoló gének például az evolúció során olyan gyakorisággal változnak, amely szorosan megközelíti a mutációs alapgyakoriságot. Ez valószínűleg azt jelenti, hogy ezeknek a fehérjéknek (amelyek a véralvadás során keletkeznek) a részleteit érintő hibák nem fontosak különösebben a szervezet számára. A hemoglobingén változási gyakorisága köztes helyet foglal el a hisztongén és a fibrinopeptidek között. Feltehetőleg a természetes kiválasztódás hibatűrése is köztes az ő esetükben. A hemoglobinnak fontos dolga van a vérben, és a részletek valóban számítanak; ám több alternatív változata is egyformán jól végzi el a feladatát.

Valami olyasmivel van itt dolgunk, ami egy kissé paradoxnak tűnhet, amíg tovább nem gondolkodunk rajta. A leglassabban fejlődő molekulákról, például a hisztonokról derül ki, hogy a leginkább ki vannak téve a természetes szelekció hatásának. A fibrinopeptidek a leggyorsabban fejlődő molekulák, mivel a természetes szelekció szinte teljesen figyelmen kívül hagyja őket. Szabadon fejlődhetnek a mutációs gyakoriság sebességével. Ez azért látszik paradoxonnak, mert a természetes szelekciót elsősorban az evolúció hajtóerejeként hangsúlyozza. Ha tehát nem volna természetes szelekció, azt gondolnánk, nem volna evolúció sem. És fordítva – gondolhatnánk megbocsátható módon –, az erős „szelekciós nyomásnak” gyors fejlődéshez kellene vezetnie. Ehelyett azt tapasztaljuk, hogy a természetes szelekciónak fékező hatása van az evolúcióra. Az evolúció alapsebbsége a természetes szelekció nélkül a lehetséges maximális sebesség. Ez azonos a mutációs sebességgel.

Valójában ez nem paradoxon. Ha jól végiggondoljuk, belátjuk, nem is lehetne másként. A természetes kiválasztódás általi evolúció nem lehet gyorsabb, mint a mutációs sebesség, hiszen végső soron a mutáció az egyetlen mód arra, hogy új változatok lépjenek be a fajba. A természetes szelekció mindössze annyit tehet, hogy bizonyos új változatokat elfogad, másokat elvet. A mutációs sebesség óhatatlanul megvonja annak a sebességnek a felső határát, amellyel az evolúció haladhat. Voltaképpen a természetes szelekció jórészt arra irányul, hogy megakadályozza az evolúciós változást, nem pedig arra, hogy előidézzé. Sietek leszögezni, hogy ez nem jelenti azt, hogy a természetes szelekció pusztán romboló erő volna. Építeni is képes, ahogyan azt a 7. fejezet majd megmagyarázza.

Még a mutációs sebesség is elég lassú. Így is fogalmazhatjuk azt, hogy a DNS-kód teljesítménye levéltárának pontos megóvásában még a természetes szelekció nélkül is nagyon imponáló. Konzervatív becslés szerint a természetes szelekció nélkül a DNS olyan pontosan másol, hogy ötmillió nemzedékre van szükség ahhoz, hogy a karakterek egy százaléka hibásan másolódjék át. Feltételezett gépiróink még így is reménytelenül lemaradnak a DNS mögött, még akkor is, ha a természetes szelekciót kihagyjuk a számításból. A gépiróknak, hogy teljesítményük a DNS-éhez fogható legyen – a természetes szelekciót figyelmen kívül hagyva –, le kell tudniuk gépelni az egész Újszövetséget egyetlen hibával. Azaz mindegyiküknek körülbelül négyszázötvenszer pontosabbnak kell lenni, mint a tipikus, valóságos titkárnőnek. Ez szemlátomást jóval kevesebb, mint a megfelelő félmilliárdos szám, ami az a szorzó, amennyivel a H4 hisztongén a *természetes szelekció után* pontosabb a tipikus titkárnőnél; de azért ez még mindig nagyon imponáló szám.

Am nem voltam méltányos a gépirókhoz. Lényegében azt tételeztem fel, hogy nem tudják észrevenni és kijavítani hibáikat. A korrektúra teljes hiányából indultam ki. A valóságban természetesen korrektúráznak. Az én milliárdnyi gépiróból álló sorom tehát nem okozná az eredeti üzenet olyan egyszerű leromlását, mint ahogy én ábrázoltam. A DNS-másoló mechanizmus ugyanezt a hiba-helyreigazítást automatikusan végzi. Ha ezt nem tenné, távolról sem érhetné el ezt az elképesztő pontosságot. A DNS-másoló eljárás különböző „korrektúrázási” rutinokat foglal magába. Erre annál is inkább szükség van, mivel a DNS-kód betűi semmiképpen sem statikusak, mint a gránitba vésett hieroglifák. Épp ellenkezőleg, ezek a molekulák olyan kicsinyek – jusson eszünkbe az a sok Újszövetség, amely a tű hegyén ül –, hogy állandóan ki vannak téve a molekulák hőmozgásából származó közönséges lökdösődésnek. Állandó áramlás van, az üzenet betűi állandóan cserélődnek. Naponta körülbelül ötezer DNS-betű hibásodik meg minden emberi sejtben, és a javító mechanizmusok annyit cserélnek ki azonnal. Ha nem volnának javító mechanizmusok és nem működnének szüntelenül, az üzenet folytonosan romlana. Az újonnan másolt szöveg korrektúrája csupán sajá-

tos esete a normális javítómunkának. Főként a korrektúra felelős a DNS-nek mint információtárnak a figyelemre méltó pontosságáért és hűségéért.

Láttuk, hogy a DNS-molekulák állnak egy látványos információs technika középpontjában. Óriási mennyiségű, pontos digitális információt tudnak nagyon kicsiny helyre összesűriteni; és képesek megőrizni ezt az információt – megdöbbentően kevés hibával, de azért mégis hibával – nagyon hosszú ideig, évmilliókig. Hova lyukadunk ki ezekkel a tényekkel? Mindez a földi élet egyik alapigazsága felé mutat, afelé az igazság felé, amelyre a fejezet nyitó bekezdésében a fűzfamagvakkal kapcsolatban már utaltam. Ez pedig az, hogy az élő szervezetek léteznek a DNS miatt, és nem fordítva. Eddig ez még nem nyilvánvaló, de remélem meggyőzőm róla az olvasót. A DNS-molekulákban tárolt üzenetek távolról sem örökkévalóak, ha az egyéni élet időskálája felől nézzük. A DNS üzenetek élettartama (néhány mutációt is beszámítva) millió és százmillió éves egységek között mérhető; más szóval tízezer egyedi élettartamtól egytrillió egyedi élettartamig terjed. Minden egyes egyedi szervezetet átmeneti hordozóként foghatunk fel, amelyben a DNS-üzenetek biológiai élettartamuknak csak kicsiny töredékét töltik.

A világ tele van létező dolgokkal...! Ebben nincs is vita, no de jutunk ezzel valamire? A dolgok vagy azért léteznek, mert nemrég jöttek életre, vagy azért, mert olyan tulajdonságaik vannak, amelyek valószínűtlenné tették múltbeli pusztulásukat. Sziklák nem keletkeznek túl gyakran, de ha már létrejöttek, kemények és tartósak. Ha nem így volna, nem sziklák volnának, hanem homok. Némelyikük csakugyan az is, máskülönben nem lennének fővenyes partjaink! Épp azok léteznek sziklákként, amelyek történetesen tartósak. A harmatcseppek viszont nem azért léteznek, mert tartósak, hanem azért, mert épp most jöttek létre, s még nem volt idejük elpárologni. Úgy tűnik kétféle „életrealitás” van: a harmatcsepp típusú, amelyet úgy összegezhethetünk, hogy „valószínű a létrejötte, de nem valami tartós”; és a szikla típusú, amit azzal foglalhatunk össze, hogy „létrejötte nem nagyon valószínű, de ha már egyszer megvan, minden bizonnyal sokáig fennmarad”. A szikláknak tartósságuk, a harmatcseppeknek „létrehozhatóságuk” van. (Próbáltam kevésbé csúnya szóra lelni, de nem sikerült.)

A DNS-nek mindkettőből a legjobb jut. Maguk a DNS-molekulák mint fizikai entitások a harmatcseppekhez hasonlatosak. Megfelelő feltételek között nagy gyakorisággal jönnek létre, ám egyikük sem áll fenn sokáig, és néhány hónapon belül lebomlik. Nem tartósak, mint a sziklák. Ám a sorrendjünkben hordozott *mintázatok* olyan tartósak, mint a legkeményebb sziklák. Megvan bennük az, ami ahhoz kell, hogy évmilliókig fennmaradjanak, s ezért vannak még most is köztünk. Lényegi eltérésük a harmatcsepektől az, hogy az új harmatcseppeket nem a régi harmatcseppek nemzik. A harmatcseppek kétségkívül hasonlítanak más harmatcseppekre, de nem emlékeztetnek konkrétan saját „szülő” harmatcseppjeikre. A DNS-molekuláktól eltérően nem alkotnak származási vonalakat, s ennél fogva nem képe-

sek üzeneteket átadni. A harmatcseppek spontán jönnek létre, a DNS-üzenetek másolással.

Az olyan közhelyek, hogy „a világ tele van olyasmivel, aminek megvan mindene ahhoz, hogy a világban lehessen” triviálisak, szinte ostobák mindaddig, amíg a tartósság egy sajátos fajtájára nem próbáljuk alkalmazni, a sokszoros másolatok származási vonalainak formájában megnyilvánuló tartósságra. A DNS-üzeneteknek másféle tartósságuk van, mint a szikláknak, és másféle létrehozhatóságuk, mint a harmatcseppeknek. A DNS-molekuláknak „hogy a világban lehessenek” arra van szükségük, hogy jelentésük legyen, márpedig ez sem nem nyilvánvaló, sem nem tautológia. „Hogy a világban lehessenek”, képesnek kell lenniük olyan gépezeteket építeni mint Ön vagy én, márpedig mi az ismert világegyetem legbonyolultabb dolgai vagyunk. Vegyük szemügyre, miként lehetséges ez.

Az alapvető oka az, hogy a DNS általunk megállapított tulajdonságairól kiderül, hogy azok az összegződő szelekció bármelyik folyamatához szükséges alap építőkövei. A 3. fejezetbeli számítógépes modellünkbe szándékosan beépítettük az összegződő szelekció alapelemeit. Ahhoz, hogy az összegződő szelekció valóban megtörténhessék a világban, bizonyos entitásoknak létre kell jönniük, amelyek tulajdonságai ezeket az alapelemeket alkotják. Nézzük tehát, melyek ezek az elemek. Amikor ezt tesszük, szem előtt kell tartanunk azt a tényt, hogy pontosan ezeknek az elemeknek legalábbis valamilyen kezdetleges formában spontán módon létre kellett jönniük a földi élet kezdetén, máskülönben az összegződő kiválasztódás, s ennél fogva az élet, eleve el sem kezdődhetett volna. Itt nem konkrétan a DNS-ről beszélünk, hanem azokról az alapelemekről, amelyekre szükség van, hogy a világegyetem bármely pontján élet keletkezhesék.

Amikor Ezekiel próféta a Csontok völgyében volt, prófétált a csontoknak, és azok egybemenének. És amikor prófétált nekik, hús és inak növekedtek rajtuk. De lélek nem vala még bennük. A létfontosságú elem, az élet tartozéka hiányzott. Egy holt bolygónak vannak atomjai, molekulái és nagyobb anyagrögei, véletlenszerűen lökdösődve és egymáshoz simulva a fizika törvényei szerint. A fizika törvényei néha arra készítetik az atomokat és a molekulákat, hogy összeálljanak, mint Ezekiel száraz csontjai, néha pedig arra készítetik őket, hogy széthulljanak. Igen nagy atomnövekmények alakulhatnak ki, azután ismét szétmorzsolódhatnak, és szanaszét törhetnek. Ám lélek még mindig nincs bennük.

Ezekiel a négy szelet hívta, hogy lelket leheljen a száraz csontokba. Mi az a létfontosságú elem, amire egy holt bolygónak, amilyen kezdetben bizonyára a Föld volt, szüksége van, hogy esélye legyen majdan életre kelni, ahogy a mi bolygónkkal történt? Ez nem lehelet, nem szél, nem valamiféle elixír vagy bájital. Egyáltalán nem is anyag. *Tulajdonság* ez, az önreplikáció tulajdonsága. Ez az összegződő kiválasztódás alapeleme. A fizika közönséges törvényeinek következtében valamiképpen létre kell jönniük *önmásoló* entitásoknak vagy ahogy én nevezem őket, *replikátoroknak*. A modern

életben ezt a szerepet szinte teljesen a DNS-molekulák töltik be, de bármilyen megtenné, ami képes másolni. Gyaníthatjuk, hogy a korai Földön az első replikátorok nem DNS-molekulák voltak. Valószínűtlen, hogy teljesen kifejlett DNS-molekula keletkezett volna azoknak az egyéb molekuláknak a segítségével, amelyek normális körülmények között csak élő sejtekben léteznek. Az első replikátorok valószínűleg durvábbak és egyszerűbbek voltak a DNS-nél.

Két további szükséges elem van, amelyek normális körülmények között automatikusan keletkeznek az első összetevőből, magából az önreplikációból. Alkalmi hibák biztosan előfordulnak az önmásolás során; szörványosan még a DNS-rendszer is vét hibákat, így valószínűnek tűnik, hogy az első replikátorok a Földön sokkal esendőbbek voltak. És legalábbis a replikátorok némelyikének *hatalmat* kellett gyakorolniuk saját jövőjük fölött. Ez az utóbbi baljóslatúbbnak hangozhat, mint amilyen a valóságban. Annyit jelent mindössze, hogy a replikátorok bizonyos tulajdonságainak bizonyára hatásuk volt a replikálódásuk valószínűségére. Legalábbis kezdetleges formában ez valószínűleg kikerülhetetlen következményük a magával a replikációval kapcsolatos alapvető tényeknek.

Mindegyik replikátornak tehát elkészülnek önnön másolatai. Mindegyik másolat azonos az eredetivel, és ugyanazokkal a tulajdonságokkal rendelkezik, mint az eredeti. E tulajdonságok között természetesen ott van az is, hogy (néha hibákkal) *több* másolatot készít önmagáról. Lehetőségében tehát minden replikátor „öse” a leszármazott replikátorok meghatározatlanul hosszú sorának, amely a távoli jövőbe nyúlik, és elágazván, lehetőségében egyre nagyobb számú replikátorutódot állít elő. Minden egyes új másolatnak nyersanyagokból, körös-körül nyüzsgő, kisebb építőkövekből kell készülnie. A replikátorok feltehetőleg amolyan öntőmintaként működnek. A kisebb alkatrészek úgy pottyannak bele együttesen az öntőmintába, hogy annak duplikátuma készül el. A duplikátum azután leválik, és maga is képes lesz öntőmintaként szolgálni. Ily módon a replikátorok potenciálisan szaporodó *sokaságát* kapjuk. Ez nem növekszik a végtelenségig, mert egy idő után a nyersanyagok, az öntőmintába hulló kisebb elemek kínálata korlátozottá válik. És most bevezetjük okfejtésünkbe a második elemet. A másolás néha nem lesz tökéletes. Hibák történnek. A hibák lehetősége sohasem küszöbölhető ki teljes mértékben a másolás folyamatából, noha valószínűleg alacsony szintre csökkenthető. Állandóan erre törekszenek pl. a hi-fi berendezések gyártói, és mint láttuk, a DNS-másolás folyamata látványosan jó teljesítményt nyújt a hibák csökkentésében. Ám a modern DNS-másolás már fejlett technológia, olyan kifinomult korrektúrázási technikákkal, amelyeket az összegződő szelekció sok nemzedéken keresztül tökéletesített. Mint láttuk, az első replikátorok ehhez képest valószínűleg viszonylag durva, alacsony megbízhatóságú szerkezetek voltak.

Térjünk most vissza replikátorpopulációnkhoz, és nézzük meg, mi lesz a hatása a hibás másolásnak. Nyilvánvaló, hogy az azonos replikátorok

egyöntetű sokasága helyett kevert sokaságot kapunk. A hibás másolás termékei közül valószínűleg sok elveszíti azt az önmásolási képességet, amivel „szülője” rendelkezett. Lesz azonban néhány olyan, amely megtartja az önmásolás tulajdonságát, miközben valamilyen más tekintetben különbözni fog szülőjétől. Így a népeségben másolódó hibákat kapunk.

Amikor a „hiba” szót olvassuk, felejtjük el összes pejoratív asszociációnkat. Egyszerűen csak a nagy hűségű másolás szempontjából jelent hibát. Lehetséges, hogy egy hiba javulást hozzon. Merem állítani, sok kiváló, új étel készült úgy, hogy a szakács hibázott, amikor megpróbálta követni a receptet. Amennyiben mondhatom, hogy vannak eredeti tudományos gondolataim, akkor ezek néha más emberek gondolatainak félreértései vagy hibás olvasatai. Visszatérve ösreplikátorainkhoz, miközben a legtöbb hibás másolás valószínűleg a másolás hatékonyságának csökkenéséhez vagy akár e tulajdonság teljes elvesztéséhez vezetett, néhányról kiderülhetett, hogy valóban *jobb* önmásoló, mint a szülő replikátora.

Mit jelent az, hogy „jobb”? Végző soron azt jelenti, hogy hatékonyabb az önmásolásban, de mit jelent ez a gyakorlatban? Ezzel eljutottunk harmadik „elemünkhöz”. Ezt „hatalomnak” neveztem korábban, és nyomban látni fogjuk, miért. Amikor a másolásról mint mintaöntésről beszéltünk, láttuk, hogy a folyamat utolsó lépésének az új másolat leválásának kell lennie a régi mintáról. Az ehhez szükséges időt az a tulajdonság befolyásolja, amit a régi öntőminta „ragadósságának” neveznek. Tegyük fel, hogy replikátorsokaságunkban, amelyben „őseik” régi másolási hibái folytán különbségek vannak, néhány változat történetesen ragadósabb, mint a többi. Egy nagyon ragadós változat minden egyes másolathoz átlagosan egy óra hosszát kapcsolódik, mielőtt az leválna, és a folyamat újrakezdődne. Egy kevésbé ragadós változat a másolatot kialakulása után a másodperc töredékén belül szabadjárá enged. E két változat közül vajon melyik válik uralkodóvá e replikátorsokaságban? A válasz felől nincs semmi kétség. Ha csupán ebben a tulajdonságban különbözik a két változat, akkor a ragadós óhatatlanul kisebb számban lesz jelen. A nem ragadós replikátor a nem ragadós másolatokat ézerszer olyan gyorsan készíti el, mint a ragadós a maga ragadós másolatait. A köztes ragadósságú változatok önmaguk szaporításának köztes sebességeit fogják mutatni. „Evolúciós trend” mutatkozik a ragadósság csökkenése irányában.

Valami ilyesféle elemi természetes szelekció ismétlődött meg laboratóriumi körülmények között is. Van egy Q β vírus, amely az *Escherichia coli* bélbaktérium parazitájaként él. A Q β -nak nincs DNS-e, de tartalmaz egy szálat a rokon RNS-molekulából, sőt nagyrészt abból áll. Az RNS a DNS-hez hasonló módon másolható.

A normális sejtben a fehérjemolekulák az RNS terveinek megfelelően állnak össze. Ezek a tervek munkapéldányai a sejt kincset érő archívumában tárolt DNS eredetiktől másolódnak. Elméletileg lehet azonban egy olyan speciális gépet építeni – a többi sejtgéphez hasonló fehérjemolekulát –,

amely RNS-másolatokat készít más RNS-másolatokról. Az ilyen gépet RNS-replikáz molekulának nevezik. Maga a baktériumsejt normális körülmények között nem veszi hasznát az ilyen gépeknek, így nem is épít ilyeneket. Ám mivel a replikáz ugyanolyan fehérjemolekula, mint akármelyik másik, a baktériumsejt rugalmas fehérjeépítő gépeit könnyen át lehet állítani ezek gyártására ugyanúgy, ahogy egy autógyár gépeit gyorsan át lehet állítani háború idején fegyvergyártásra: csupán a megfelelő tervrajzokra van szükség. És itt lép be a vírus.

A vírus egy RNS-tervvel száll be az üzletbe. Ez a felszínen megkülönböztethetetlen a többi RNS-tervrajztól, amelyek, miután a baktérium DNS-eredetijéről lemásolódtak, ott lebegnek a sejtben. Ám ha elolvassuk a vírus-RNS kicsiny nyomtatványát, akkor abban valami ördögi dolgot találunk leírva. A betűkből az RNS-replikáz felépítésének terve áll össze: olyan gépek tervei, amelyek pontosan ugyanezeknek az RNS-terveknek a másolatait készítik el, amelyek újabb gépeket állítanak elő, amelyek a tervek újabb másolatait készítik, amelyek újabb...

Így a gyárat hatalmukba kerítik ezek az önérdékű tervrajzok. A gyár bizonyos értelemben kihívta maga ellen a sorsot. Ha a gyárunkat olyan fejlett gépekkel töltjük meg, amelyek képesek előállítani bármit, amit akármilyen terv megad számukra, akkor aligha meglepő, ha előbb-utóbb olyan terv bukkan fel, amely azt mondja a gépeknek, hogy saját maga másolatait készítsék. A gyár egyre jobban megtelik ezekkel a gonosztevő gépekkel, amelyek gonosztevő terveket állítanak elő további gépek készítésére, amelyek újabb másolatokat készítenek saját magukról. Végül a szerencsétlen baktérium kipukkad és milliószám engedi szabadjára a vírusokat, amelyek új baktériumokat fertőznek meg. Hát ennyit a vírus természetes életciklusáról.

Az RNS-replikázt és az RNS-t gépnek és tervnek neveztem. És azok is bizonyos értelemben (amit más szempontból később még tárgyalunk a fejezetben), ám egyben molekulák is, s a vegyészek megtisztíthatják őket, és üvegekbe zárva egy polcon tárolhatják. Ezt tette Sol Spiegelman a kollégáival az Egyesült Államokban az 1960-as években. Azután a két molekulát összehozták egy oldatban, és nagyon izgalmas dolog történt. A kémcsőben az RNS-molekulák öntőmintaként szolgáltak saját maguk másolatainak szintéziséhez, amit az RNS-replikáz jelenléte segített. A szerszámgepeket és a terveket kivonták, és egymástól elkülönítve hideg helyre tették. Majd amint újra hozzáférhettek egymáshoz, valamint a nyersanyagként szükséges kis molekulákhoz, a vízben mindketten visszatértek régi trükkjeikhez, annak ellenére, hogy most már nem élő sejtben, hanem kémcsőben voltak.

Ettől már csak egy kis lépés a laboratóriumi természetes szelekció és evolúció. Ez nem más, mint a számítógépes biomorfok kémiai változata. A kísérleti módszer lényegében az, hogy fölállítunk egy hosszú sor kémcsövet, amelyek RNS-replikáz-oldatot tartalmaznak, valamint nyersanyagokat, kis molekulákat, amelyek az RNS-szintézishez használhatók. Mind-

egyik kémcső tartalmazza a szerszámgépeket és a nyersanyagot, most azonban még tétlenül henyélnek, mert nincs tervük, amelyből dolgozhatnának. Most magából az RNS-ből egy kicsiny mennyiséget beleszórtunk az első kémcsőbe. A replikázapparátus nyomban munkához lát, és előállítja az újonnan bevitt RNS-molekulák másolatainak tömegét, amelyek szétterjednek a kémcsőben. Ekkor kivesszünk az első kémcsőből egy cseppnyi oldatot és beletesszük a második kémcsőbe. A folyamat megismétlődik a második kémcsőben, majd egy cseppet kivesszünk belőle és beletesszük a harmadik kémcsőbe és így tovább.

Alkalmanként spontán módon a véletlenszerű másolási hibák miatt kissé eltérő, mutáns RNS-molekula keletkezik. Ha bármi oknál fogva az új változat a versengésben felette áll a réginek, felette áll abban az értelemben, hogy talán kisebb mértékű „ragadósága” miatt, gyorsabban vagy egyéb módon hatékonyabban másolja magát, akkor az új változat nyilvánvalóan szétterjed abban a kémcsőben, amelyben keletkezett, és számbeli fölénybe kerül a szülő típuskal szemben, amely létrehozta. Amikor azután ebből a kémcsőből egy cseppnyi oldatot kivesszünk, hogy a következőt megtermékenyítsük, akkor ez az új mutánsváltozat végzi a dolgát. Ha a kémcsövek hosszú sorában vizsgáljuk az RNS-t, akkor a látványt csak evolúciós változásnak nevezhetjük. A számos „kémcsőnemzedék” végén előállított, a versengésben sikeresebb RNS-változatokat palackozhatjuk és elnevezhetjük a jövőbeni alkalmazás számára. Az egyik változat például, amelyet V2-nek neveznek, sokkal gyorsabban másolódik, mint a normális Q β RNS, valószínűleg azért, mert kisebb. A Q β RNS-től eltérően nem kell verszónie azzal, hogy meglegyenek benne a replikáz előállításának tervei. A replikáz ingyen kapja a kísérletezőktől. Leslie Orgel és munkatársai Kaliforniában a V2 RNS-t egy érdekes kísérlet kiindulópontjaként használták föl, amelyben „nehéz” körülményeket teremtettek.

Kémcsőeikbe egy etídium-bromid nevű mérget tettek, amely gátolja az RNS-szintézist: összeragasztja a szerszámgépek termékeit. Orgel és munkatársai kiindulásként a mérgek híg oldatát használták. A mérgek először lelassította a szintézist, ám kilenc kémcsőnemzedéknyi fejlődés múltán a mérgek ellenálló, új RNS-törzs szelektálódott ki. Az RNS-szintézis sebessége most már hasonló volt a normál V2 RNS mérgek nélküli szintézisének sebességéhez. Orgel és munkatársai erre megduplázták a mérgek töménységét. Az RNS-másolás sebessége ismét esett, ám körülbelül újabb tíz kémcsőnemzedék múltán olyan RNS-törzs fejlődött ki, amely védett volt a nagyobb mérgekonzentrációval szemben is. Ekkor a mérgek töménységét újra megduplázták. Így, egymást követő duplázások után sikerült kifejleszteniük egy olyan RNS-törzset, amely az etídium-bromid nagyon nagy koncentrációja mellett is képes volt önmaga másolására, a mérgek töménysége tízszerese volt annak, ami az eredeti V2 RNS működését meggátolta. Az új, ellenálló RNS-t V40-nek nevezték el. Körülbelül 100 kémcsőátviteli „nemzedék”

volt szükség, hogy a V2-ből a V40 kifejlődjék (természetesen az egyes átvitelek közé sok tényleges RNS-másolási nemzedék esett).

Orgel olyan kísérleteket is végzett, amelyekben nem adtak az oldathoz enzimet. Azt tapasztalta, hogy az RNS-molekulák ilyen körülmények között is másolni tudják magukat spontán módon, jóllehet nagyon lassan. Úgy tűnt, valami más katalizáló anyagra van szükségük, például cinkre. Ez azért fontos, mert az élet kezdetén, amikor a replikátorok először megjelentek, nem tételezhetjük föl, hogy már voltak enzimek, amelyek a másolást segítették. Viszont valószínűleg volt cink.

Ennek a kísérletnek a kiegészítő párját tíz évvel ezelőtt végezték el a Manfred Eigen által vezetett és az élet eredetét tanulmányozó, nagy hatású német iskola laboratóriumában. Ezek a kutatók replikázt és az RNS építőköveit tették a kémcsőbe, de *nem* oltották be az oldatot RNS-sel. Egy bizonyos nagy RNS-molekula mégis kifejlődött *spontán módon* a kémcsőben, és ugyanez a molekula újra és újra kifejlesztette magát az egymást követő és egymástól független kísérletek során! Gondos ellenőrzésekkel bebizonyították, hogy nem állt fenn az RNS-molekulák általi véletlen fertőzés lehetősége. Jelentős eredmény, ha figyelembe vesszük, hogy milyen kicsiny a statisztikai valószínűsége annak, hogy ugyanaz a nagy molekula spontán módon kétszer jöjjön létre. Sokkal valószínűtlenebb, mint annak a spontán legépelődése, hogy METHINKS IT IS LIKE A WEASEL. Számítógépes modellünk kifejezéséhez hasonlóan az előnyben részesített konkrét RNS-molekula fokozatos, *összegződő* evolúció által épült föl.

Az RNS-nek ezekben a kísérletekben ismételtelen előállított változékonysága ugyanolyan mértékű és szerkezetű volt, mint az, amit Spiegelman produkált. De míg Spiegelman molekulái a természetesen előforduló nagyobb Q β vírus-RNS „degenerálása” révén fejlődtek ki, addig az Eigen-csoport molekulái szinte a semmiből építették fel magukat. Ez a konkrét formula jól alkalmazkodott a kész replikázzal ellátott kémcsövekből álló környezetbe. Ezért ezt az összegződő szelekció két nagyon különböző kiindulópontból közelítette meg. A nagyobb, Q β RNS-molekulák kevésbé jól alkalmazkodnak a kémcsőkönyezetbe, viszont jobban alkalmazkodnak az *E. coli* sejtjei által nyújtott környezetbe.

Az efféle kísérletek segítségünkre vannak abban, hogy felbecsüljük a természetes szelekció teljes mértékben automatikus és nem szándékos jellegét. A replikáz „gépek” nem tudják, miért készítenek RNS-molekulákat: hogy mégis ezt teszik, az csupán alakjuk mellékterméke. Maguk az RNS-molekulák pedig nem dolgoznak ki stratégiát saját maguk sokszorosítására. Még ha tudnának is gondolkozni, semmi kézenfekvő oka sincs annak, hogy egy gondolkodó entitásnak miért volna indítéka másolatokat készíteni magáról. Ha tudnám, hogyan lehet magamról másolatot készíteni, nem vagyok benne biztos, hogy ennek a tervnek elsőbbséget adnék az összes egyéb dologhoz képest, amit tenni szeretnék: miért is kellene? A motiváció azonban lényegtelen a molekulák esetében. Arról van csupán szó, hogy a vírus-

RNS szerkezete *történetesen* olyan, hogy a sejt gépezetét önmaga másolására készíti. És ha bármely entitás, bárhol a világegyetemben véletlenül azzal a tulajdonsággal rendelkezik, hogy jól tud saját magáról több másolatot készíteni, akkor ennek az entitásnak nyívánvalóan automatikusan egyre több és több másolata *fog* létrejönni. És nem is csak erről van szó, hanem mivel automatikusan leszármazási vonalakat alkotnak és mivel alkalmanként hibás másolat készül, a későbbi változatok az összegeződő szelekció hatalma miatt egyre „jobbak” lesznek önmaguk lemásolásában. Mindez végtelenül egyszerű és automatikus. Annyira megjósolható, hogy szinte kikerülhetetlen.

A „sikerés” RNS-molekula a kémcsőben valamilyen közvetlen, benső tulajdonsága miatt sikeres, valami olyasmi miatt, ami analóg hipotetikus példám „ragadósságával”. A ragadóssághoz hasonló tulajdonságok azonban meglehetősen unalmasak. Magának a replikátornak az elemi tulajdonságai olyan tulajdonságok, amelyeknek közvetlen hatásuk van lemásolódása valószínűségére. Mi történik, ha a replikátor valami másra van hatással, ami azután hatással van valami másra, ami hatással van valami másra, ami... végül, közvetve, hatással van a replikátor másolódási esélyére? Belátható, hogy ha az efféle hosszú okozati láncok léteznének is, az alapvető közhely továbbra is fennállna. A replikátorok, amelyek birtokában vannak a saját maguk lemásolására való képességnek, uralkodóvá válnának a világban, *függetlenül attól, hogy milyen hosszú és milyen közvetett* okozati lánc kapcsolja őket lemásolódásuk valószínűségének befolyásolásához. S ugyanezen az alapon a világ megtelnék ennek az okozati láncnak az egyes kapcsaival, láncszemeivel. Mi pedig látnánk ezeket a láncszemeket, és rájuk csodálkoznánk.

A modern szerkezetekben folyvást látjuk őket. Ezek a szemek, a bőrök, a csontok, az ujjak, az agyak és az ösztönök. Ezek a dolgok a DNS másolásának eszközei. Ezeket a DNS okozza abban az értelemben, ahogyan a szemek, a bőrök, a csontok, az ösztönök stb. különbségeit a DNS különbségei okozzák. Hatást fejtenek ki annak a DNS-nek a másolódására, amely okozta őket, amennyiben hatással vannak testük életben maradására és szaporodására, amely test ugyanezt a DNS-t tartalmazza, s amelynek sorsa ezért közös a DNS-ével. A DNS tehát maga is befolyásolja saját másolódását a testek tulajdonságain keresztül. A DNS-ről elmondhatjuk, hogy hatalma van saját jövője fölött, s a testek és szerveik és viselkedésmintáik ennek a hatalomnak az eszközei.

Amikor hatalomról beszélünk, akkor a replikátoroknak azokról a következményeiről beszélünk, amelyek hatással vannak saját jövőjükre, bármilyen közvetettek legyenek is ezek a következmények. Nem számít, hány láncszem van az októl az okozathoz vezető láncban. Ha az ok önmagát másoló entitás, akkor az okozat, bármilyen távoli és közvetett legyen is, ki van téve a természetes szelekciónak. Ezt az általános elgondolást azzal foglalom össze, hogy elmesélek egy konkrét történetet a hódokról. Részleteit

tekintve csupán feltevés, de semmiképpen sem lehet nagyon messze az igazságtól. Jóllehet senki sem tanulmányozta a hód agyában a kapcsolatok kialakulását, végeztek ilyen kutatást más állatokkal, például férgekkel. Átveszem a következtetéseket és a hódokra alkalmazom őket, mivel a hódok sok ember számára érdekesebbek és vonzóbbak, mint a férgek.

A hód mutáns génje csupán egy változás egy milliárd betűből álló szövegben; változás egy adott G génben. Ahogy a kis hód növekszik, a változás átmásolódik a szöveg összes többi betűjével együtt a hód összes sejtjébe. A sejtek legtöbbszörében a G gént nem olvassák el; más géneket, amelyek fontosak az adott sejt típus működése szempontjából, elolvasnak. A G-t azonban elolvasák a fejlődő agy bizonyos sejtjeiben. Elolvasák és RNS-másolatokká írják át. Az RNS-munkamásolatok ide-oda sodródnak a sejtek belsejében, s végül némelyikük nekiütközik a riboszómáknak nevezett fehérjegyártó gépeknek. A fehérjegyártó gépek elolvasák a RNS terveit, és ezek utasítása szerint új fehérjemolekulákat állítanak elő. Ezek a fehérjemolekulák az aminosavsorrendjük által meghatározott alakúra gombolyodnak, az aminosavsorrendet pedig a G gén DNS-ének kódsorrendje szabja meg. Amikor G mutál, akkor ez a változás döntő különbséghez vezet a G gén által a normális körülmények között meghatározott aminosavsorrendben, s ennél fogva a feltekeredett fehérjemolekula formájában.

A fehérje-előállító gépek tömeges méretekben termelik ezeket a kissé megváltozott fehérjemolekulákat a fejlődő agysejtekben. Ezek után enzimként működnek, olyan gépekként, amelyek további vegyületeket állítanak elő a sejtekben, a géntermékeket. A G gén termékei utat találnak a sejtet körülvevő hártárhoz, s ezáltal részévé válnak annak a folyamatnak, amely által a sejt kapcsolatokat létesít más sejtekkel. Az eredeti DNS-tervek csekély változása miatt bizonyos hártávegyületek termelésének sebessége megváltozik. Ez azután megváltoztatja bizonyos fejlődő agysejtek más sejtekkel kialakított kapcsolatainak módját. Finom módosulás történt a hód agya egy konkrét részének kapcsolási rajzában a DNS-szöveg változásának közvetett, csakugyan nagyon távoli következményeként.

Történetesen, a hód agyának ez a konkrét része az egész kapcsolási rajzban elfoglalt helye miatt részt kap a hód gátépítő viselkedésében. Természetesen az agy nagy része vesz részt a hód gátépítésében, amikor azonban a génmutáció az agy kapcsolási rajzában ezt a konkrét részét érinti, akkor a változásnak sajátos hatása van a viselkedésre. Azt idézi elő, hogy a hód magasabban tartja a fejét a vízben, amikor állkapcsai közt egy rönkkel úszik. Azaz magasabban, mint a mutáció nélküli hód. Ettől egy kicsit kisebb lesz a valószínűsége, hogy a rönkhöz tapadt sár lemosódik az út alatt. Ez fokozza a rönk tapadósságát, ami azután azt jelenti, hogy amikor a hód a gáthoz nyomja, akkor a rönk nagyobb valószínűséggel marad ott. Ez érvényes lesz az összes olyan rönkre, amelyet az ezt a konkrét mutációt hordozó hódok helyeznek el. A rönkök fokozott ragadóssága a DNS-szöveg megváltozásának következménye, ismét csak nagyon közvetett következménye.

A rönkök fokozott ragadóssága a gátat szilárdabb szerkezetűvé teszi, s így kisebb lesz a valószínűsége, hogy átszakad. Ez azután növeli a gát által létrehozott tó méretét, amelytől a tó közepén levő lakás nagyobb biztonságban lesz a ragadozóktól. Ez növelheti a hód által sikeresen felnevelt utódok számát. Ha az egész hódpopulációt tekintjük, akkor a mutált génű példányok átlagosan több utódot fognak nevelni, mint a mutált gén nélküliek. Ezek az utódok többnyire örökölni fogják szüleiktől az azonos megváltozott gén levéltári másolatait. Ennélfogva a nemzedékek során a népességben ez a fajta gén gyakoribbá válik. Végül is ez lesz a normális, s többé már nem szolgál rá a „mutáns” címre. A hódgátak egy újabb kicsiny fokkal tökéletesebbek lesznek.

Lényegtelen az a tény, hogy ez a konkrét történet csak egy hipotézis, s hogy a részletek esetleg helytelenek lehetnek. A hódgát a természetes kiválasztódás által fejlődött ki, s ennélfogva ami történt, nem térhet el nagyon az általam elmesélt történetről, eltekintve a gyakorlati részletektől. Az élet ilyen fölfogásának általános következményeit magyaráztam meg és dolgoztam ki a Hódító gén (The Extended Phenotype) című könyvemben, s itt nem ismétlem meg az érveimet. Vegyük észre, hogy ebben a hipotézisben nem kevesebb mint 11 láncszem található a megváltozott gént a javult életesélyekkel összekapcsoló okozati láncban. A valóságban ennél több is lehet. E láncszemek mindegyikét, akár a sejten belüli vegyi folyamatokat érő hatás, akár későbbi hatás, amely azt érinti, hogy az agysejtek miként kapcsolódnak össze, akár a viselkedést érintő még későbbi hatás vagy akár a tó méretére gyakorolt végső hatás, helyesen tekinthetjük úgy, hogy a DNS megváltozásának a következménye. Az sem számítana, ha 111 láncszem volna. Bármely hatás, amelyet egy génbeli változás a saját másolási valószínűségére gyakorol, természetes szelekcióhoz vezet. Mindez tökéletesen egyszerű, üdítően automatikus és előfeltevésektől mentes. Valami efféle szinte elkerülhetetlen, ha egyszer már az összegződő szelekció alapelemei – másolás, hiba és hatalom – létrejöttek. De vajon hogyan történik ez meg? Miként jöttek létre a Földön annak előtte, hogy élet lett volna? A következő fejezetben meglátjuk, hogyan válaszolható meg ez a nehéz kérdés.

6. FEJEZET

Eredetek és csodák

Valóban, szerencse, egybeesés, csoda. A fejezet fő témáját a csodák alkotják, s az, hogy mit értünk rajtuk. Tételelem szerint azok az események, amelyeket közönségesen csodáknak nevezünk, nem természetfelettiak, hanem többé-kevésbé valószínűtlen természeti események szinképének részei. A csoda más szóval, ha egyáltalán előfordul, hatalmas szerencse. Az események nem oszthatók fel takarosán természetes eseményekre és csodákra.

Van néhány olyan állítólagos esemény, amely túlságosan valószínűtlen ahhoz, hogy fontolóra vegyük, ezt azonban nem tudhatjuk mindaddig, amíg nem végeztünk számítást. S e számítás elvégzéséhez tudnunk kell, mennyi idő állt rendelkezésre vagy általánosabban, mennyi lehetőség volt adva az esemény megtörténtéhez. Ha végtelen időt vagy végtelen számú lehetőséget tételezünk fel, akkor bármi lehetséges. A nagy számok, amelyek közmondásosan a csillagászat birodalmába tartoznak, és a nagy időtávlatok, amelyek a geológiát jellemzik, összefognak, hogy fejtetőre állítsák minden hétköznapi becslésünket arról, hogy mi várható és mi csodálatos. E pontig egy konkrét példa segítségével fogok eljutni, ami ennek a fejezetnek a másik fő témája. E példa az a probléma, hogy miként keletkezett az élet a Földön. Mondanivalóm világos megfogalmazása érdekében önkényesen az élet eredetének egy konkrét elméletére összpontosítok, noha a modern elméletek bármelyike szolgálhatná ezt a célt.

Bizonyos mennyiségű szerencsét el tudunk fogadni magyarázatainkban, de nem túlságosan sokat. A kérdés az, *mennyit*? A földtani idő lenyűgöző nagysága feljogosított bennünket több valószínűtlen egybeesés föltételezésére, mint amennyit egy bírósági tárgyaláson elfogadnának, de még így is vannak határok. Az életre adott összes modern magyarázatunkban az összegződő szelekció a kulcs. Elfogadhatóan szerencsés események (véletlenszerű mutációk) sorát fűzi össze nem véletlenszerű szekvenciává úgy, hogy a sor végén a befejezett termék azt az illúziót kelti, csakugyan nagyon-nagyon szerencsés, túlságosan is valószínűtlen ahhoz, hogy egyedül a véletlen idézte volna elő, még akkor is, ha olyan időtávot veszünk, ami milliószor hosszabb, mint a világegyetem eddigi kora. Az összegződő szelekció a kulcs, de annak el kellett kezdődnie, és nem kerülhetjük ki egy *egylépéses* véletlen esemény feltételezését magának az összegződő szelekciónak a kezdetén.

Ez a létfontosságú első lépés nehéz volt, mert a mélyén olyasvalami van,

ami paradoxonnak tűnik. Az általunk ismert másolási (replikációs) eljárások működéséhez látszólag bonyolult gépezetre van szükség. Egy replikáz „szerszámgép” jelenlétében az RNS-töredékek ismételten és közelítve ugyanazon végpont felé fejlődnek, olyan végpont felé, amelynek valószínűsége elhanyagolhatóan csekélynek látszik mindaddig, amíg az összegződő szelekció hatalmát fontolóra nem vesszük. Ám segítenünk kell ezt az összegződő kiválasztódást, hogy meginduljon. Nem indul el, hacsak nem látjuk el valamilyen katalizátorral, mint az előző fejezet replikáz „szerszámgépe”. Márpedig ez a katalizátor nem valószínű, hogy spontán módon létrejönne, hacsak nem más RNS-molekulák irányítása alatt. DNS-molekulák másolódnak a sejt bonyolult gépezetében, és írott szavak másolódnak a fénymásoló gépekben, ám egyik sem képes spontán másolódásra gépezeteik hiányában. A fénymásoló gép le tudja másolni saját tervrajzát, de nem képes spontán módon életre kelni. A biomorfok könnyedén másolódnak az alkalmasan megírt számítógépprogram által nyújtott környezetben, de nem tudják megírni saját programjukat vagy megépíteni az azt futtató számítógépet. A vak órásmester elméletnek rendkívüli magyarázó ereje van, tekintettel arra, hogy módot nyújt a másolódás, és ebből az összegződő kiválasztódás feltételezésére. Ám, ha a másolódáshoz bonyolult gépezetre van szükség, akkor bajban vagyunk, mivel a bonyolult gépezet végső létrejöttére az egyetlen általunk ismert mód az összegződő szelekció.

Kétségtelen, hogy a modern sejtgépezet, a DNS-másolás és a fehérjeszintézis apparátusa a magas fejlettségű, különlegesen tervezett gép minden ismeretőjegyét magán viseli. Már láttuk, milyen lélegzetelállítóan pontos adattároló eszköz. A maga ultraminiatűr szintjén a kidolgozottság és a tervezés bonyolultságának ugyanazt a nagyságrendjét képviseli, mint nagyobb méretben az emberi szem. Aki már belegondolt a dologba, egyetért azzal, hogy egy olyan bonyolultságú apparátus, mint az emberi szem, nem keletkeztethet egylépéses szelekció révén. Sajnos úgy tűnik, ugyanez áll annak a sejtgépezetnek legalábbis részeire, amely által a DNS önmagát lemásolja, s ez nemcsak az olyan fejlett élőlények sejtjeire igaz, mint mi vagyunk, hanem az olyan sokkal egyszerűbb lényekre is, mint a baktériumok és a kékeszöldalgák.

Az összegződő szelekció tehát képes bonyolultságot előállítani, az egylépéses szelekció viszont nem. Ám az összegződő szelekció nem tud működni, ha nincs legalábbis valamilyen minimális másolási gépezet és replikátor erő, az egyedüli másolási gépezet pedig, amit ismerünk, túlságosan bonyolultnak tűnik ahhoz, hogy az összegződő szelekció sok nemzedékénél kevesebb is elég legyen létrejöttéhez! Vannak, akik ezt az egész vak órásmester elmélet alapvető hibájának tartják. Végső bizonyítéknak tekintik arra, hogy kezdetben kellett lennie valamilyen tervezőnek, nem egy *vak* órásmesternek, hanem egy messzire látó, természetfeletti órásmesternek. Lehetséges, érvelnek, hogy a Teremtő nem irányítja az evolúciós események nap nap utáni sorát; lehet, hogy nem formázta meg a tigrist és a bárányt, lehet, hogy nem készített

Éz áttetszően gyöngés érvelés, sőt nyilvánvalóan önmagát semmisíti meg. A szervezett bonyolultság az, aminek magyarázatával nehézségeink vannak. Ha egyszer már lehetőségünk van egyszerűen *feltételezni* a szervezett bonyolultságot, még ha csak a DNS-másoló/fehérjemásoló gép szervezett bonyolultságát, akkor viszonylag könnyű hozzá mint a még szervezettebb bonyolultság létrehozójához folyamodni. Csakugyan erről szól e könyv legnagyobb része. De természetesen annak az Istennek, amelyik képes intelligensen megtervezni egy olyan bonyolult dolgot, mint a DNS-másoló/fehérjemásoló rendszer, legalábbis ugyanolyan bonyolultnak és szervezettnek kell lennie, mint magának a gépnek. És ez méginkább így van, ha *ezenkívül* feltételezzük róla, hogy képes olyan fejlett funkciókra is, mint imák meghallgatása és bűnök megbocsátása. Ha azzal magyarázzuk a DNS-gép/fehérjégép eredetét, hogy a természetfeletti Alkotóhoz folyamodunk, akkor semmit sem magyaráztunk meg, mert magyarázat nélkül hagyjuk az Alkotó eredetét. Valami olyasmit kell mondanunk, hogy „Isten mindig is volt”, ha pedig megengedjük magunknak ezt a fajta lusta megoldást, akkor ennyi erővel azt is mondhatnánk, a „DNS mindig is volt” vagy „az élet mindig is volt”, és ezzel el is volna intézve.

131

másik szinte bizonyos, hogy legépelné: „gondolkodom, tehát vagyok”. A probléma az, hogy nem tudnánk összegyűjteni ennyi majmot. Ha a világegyetem minden anyagát majomhússá változtatnánk, akkor sem volna elég majmunk. Az a csoda, hogy egy majom legépel: „azt hiszem, olyan, mint egy menyét” mennyiségileg *a mérhetőség szempontjából* túl nagy ahhoz, hogy felvehessük az elméleteinkbe arról, ami valójában történt. Ezt azonban nem tudhatjuk mindaddig, amíg nem ültünk le és nem végeztük el a számítást.

Vannak tehát a pusztá szerencsének olyan szintjei, amelyek nem csupán a vézna emberi képzelet számára túl nagyok, hanem ahhoz is, hogy az élet eredetével kapcsolatos konok számításainkban dolgozzunk velük. De, hogy megismételjük a kérdést, a szerencse mekkora szintjét, a csodából mennyit szabad posztulálnunk? Ne meneküljünk el ez elől a kérdés elől csupán azért, mert nagy számokról van szó. Ez tökéletesen jogos kérdés, és legalább leírhatjuk, hogy mit kellene tudnunk ahhoz, hogy a választ kiszámítsuk.

Ez egy izgalmas gondolat. A válasz kérdéseinkre – hogy mennyi szerencsét szabad feltételeznünk – attól függ, hogy bolygónk az egyetlen, amelyen élet van, vagy tömegével találkozunk az élet jeleivel szerte a világegyetemben. Egy dolgot bizonyosan tudunk: az élet egyszer megjelent, itt, éppen ezen a bolygón. Arról azonban fogalmunk sincs, van-e valahol élet másutt is a világegyetemben. Nagyon könnyen lehetséges, hogy nincs. Egyesek már kiszámították, hogy kell lenni életnek másutt is, mégpedig a következő alapon (a hibára majd csak később fogok rámutatni). Valószínűleg legalább 10^{20} (azaz százmilliárd-milliárd) olyan bolygó van a világegyetemben, amelyek nagyjából alkalmasak az élet kialakulására. Tudjuk, hogy az élet itt létrejött, így hát nem lehet *teljesen* valószínűtlen, sőt szinte óhatatlan, hogy a milliárdszor milliárdnyi többi bolygó közül legalábbis néhányon legyen élet.

Az érvelésben ott a hiba, hogy *mivel az élet megjelent itt*, akkor ez nem is lehet olyan rettenetesen valószínűtlen esemény. Eszrevehető, hogy ebben a következtetésben az a beépített feltevés rejlik, hogy ami a Földön történt, valószínűleg megtörtént egyebütt is az Univerzumban, s ez éppen a kérdéses dolgot veszi bizonyítottnak. Más szóval, ez a statisztikai érv, hogy kell lennie életnek másutt is a világegyetemben, mivel itt van, feltevésként magába építi azt, amit bizonyítani próbál. Ez nem jelenti azt, hogy szükségképpen helytelen a következtetés, miszerint van élet szerte az Univerzumban. Sejtlemem szerint ez valószínűleg igaz. Egyszerűen azt jelenti, hogy az adott okfejtés, amely elvezetett hozzá, egyáltalán nem helyénvaló. Ez csupán feltevés.

Játsszunk el a vita kedvéért azzal az alternatív feltevéssel, hogy az élet csupán egyszer jelent meg, s ez itt volt a Földön. Az ember kísértést érez, hogy a következő érzelmi alapon elvesse ezt a feltevést. Nincs ebben valami rettentően középkori? Vajon nem azt az időt idézi föl, amikor azt tanították, hogy Földünk a világegyetem középpontja, s a csillagok csupán tűhegynyi

kis fényecskék, hogy nekünk világítsanak (vagy ami még abszurdabb önhittségre vall: a csillagok még arra is veszik a fáradságot, hogy asztrológiai befolyással legyenek kicsiny életünkre)? Nem önteltség feltételezni, hogy a világegyetem milliárdszor milliárdnyi bolygója közül éppen a mi kicsiny, isten háta mögötti világunkat, a mi helyi, isten háta mögötti naprendszerünkben, a mi isten háta mögötti galaxisunkban választották volna ki az élet számára? Miért lett volna éppen a *mi* bolygónk az?

Őszintén sajnálom, hogy szívből örülök, amiért megmenekültünk a középkori egyház szellemétől, és megvetem a mai asztrológusokat, de attól tartok, az előző bekezdésben az utalás az istenhátamögöttségre, csupán retorika. *Nagyon is lehetséges*, hogy éppen a mi isten háta mögötti bolygónk legyen szó szerint az egyedüli bolygó, amelyen valaha is élet volt. Mert hiszen ha csupán *egyetlen* bolygó lenne, amely az élet hordozója, akkor ez *szükségképpen* a mi bolygónk lenne, egyszerűen azért, mert „mi” itt ezt a kérdést vitatjuk! Ha az élet kialakulása *csakugyan* annyira valószínűtlen esemény, hogy élet csupán egyetlen bolygón jött létre a világegyetemben, akkor ez a bolygó a mi bolygónk. Azt a tényt tehát, hogy a Földön van élet, nem használhatjuk fel annak a következtetésnek a levonására, hogy az életnek elég valószínűnek kell lennie ahhoz, hogy egy másik bolygón is kialakuljon. Az efféle érvelés körkörös lenne. Valamilyen független okfejtésre van szükségünk arról, hogy az élet keletkezése egy bolygón mennyire könnyű vagy nehéz, mielőtt akár csak hozzákezdhetnénk annak a kérdésnek a megválaszolásához, hogy a világegyetemben hány bolygón lehet élet.

Mi azonban nem erre a kérdésre keressük a választ. A mi kérdésünk az volt, hogy mennyi szerencsét szabad föltételeznünk a földi élet keletkezésének elméletében. Azt mondtam, a válasz attól függ, hogy az élet vajon csupán egyszer vagy sokszor keletkezett. Kezdjük azzal, hogy nevet adunk annak a valószínűségnek, bármily kicsiny legyen is, amellyel az élet valamilyen adott típusú, véletlenszerűen kijelölt bolygón keletkezik. Nevezzük el ezt a számot a spontán keletkezés valószínűségének, vagyis SKV-nak. Az SKV az, amit megkapunk, ha leülünk kémiai tankönyveink mellé, vagy laboratóriumunkban szikrákat lövünk légköri gázok ésszerű keverékeibe, és kiszámítjuk annak esélyét, hogy másolódó molekulák jöjjenek létre spontán módon egy tipikus bolygólégkörben. Tegyük fel, hogy legjobb becslésünk az SKV-ra valami nagyon nagyon kicsiny szám, mondjuk egy a milliárdhoz. Ez nyilvánvalóan oly kicsiny valószínűség, hogy a leghalványabb reményünk sem lehet egy ilyen fantasztikusan szerencsés, csodálatos esemény megismétlésére laboratóriumi kísérleteinkben. Mégis ha föltételezzük, amire az okfejtés érdekében teljes mértékben jogunk van, hogy az élet csupán egyszer keletkezett a világegyetemben, akkor abból következik, hogy *szabad* nagyon nagy szerencsét feltételeznünk elméletünkben, mivel oly sok bolygó van a világegyetemben, ahol élet keletkezhetett volna. Ha, ahogy az egyik becslés állítja, százmilliárd-milliárd bolygó van, akkor ez százmilliárdszor nagyobb, mint az általunk feltételezett nagyon alacsony SKV. Hogy lezár-

juk tehát ezt az okfejtést, a maximális nagyságú szerencse, amit föl szabad tétéleznünk, mielőtt az élet eredetének egy adott elméletét elvetjük, $1:N$, ahol N a világegyetem alkalmas bolygónak száma. Sok mindent rejt az „alkalmas” szó, de az érvelésünkben feltételezhető maximális szerencsét állapítsuk meg 1 : százmilliárd-milliárdban.

Gondoljuk végig, mit jelent ez. Elmegyünk egy vegyészhez és azt mondjuk: vedd elő a könyveidet és a számológépedet, hegyezd ki a ceruzádat és szedd össze az eszedet; töltsd meg a fejedet képletekkel, az edényeidet pedig metánnal, ammóniával, hidrogénnel, szén-dioxiddal és mindazzal a gázzal, amelyek meglétére egy élettelen ősbolygón számíthatunk; kotyvaszd őket össze; engedd át a villámlás szikráit szimulált légkörödön, s az ihlet szikráit agyadon; vesd be összes ügyes vegyész módszeredet és add meg nekünk a vegyész legjobb becslését annak valószínűségéről, hogy egy tipikus bolygó spontán módon önmagát másoló molekulát hoz létre. Vagy másként fogalmazva, meddig kellene várnunk, mire a bolygó véletlenszerű vegyi eseményei, az atomok és a molekulák véletlenszerű hőmozgása önmagát másoló molekula kialakulásához vezetne?

A vegyészek nem ismerik a választ erre a kérdésre. A legtöbb mai kémikus valószínűleg azt mondaná, hogy az emberi élet nagyságrendjét alapul véve valószínűleg hosszú ideig kellene várnunk, de talán nem volna olyan hosszú ez az idő kozmológiai léptékkel. A Föld őstörténete arra mutat, hogy körülbelül egymilliárd évvel – vagy hogy kényelmes, modern egységet használjunk: egy eonnal – játszhatunk, mert durván ennyi idő telt el a Föld körülbelül négy és fél milliárd évvel ezelőtti kialakulása és az első fosszilis szervezetek kora között. Ám a mi „bolygók száma” érvünknek az a lényege, hogy az sem kell, hogy kihozzon a sodrunkból, ha a vegyész azt állítja, „csodára” kell várnunk, milliárd-milliárd évet kell várnunk – sokkal többet, mint amennyi a világegyetem létezésének ideje. Valószínűleg több mint milliárd-milliárd bolygó van a világegyetemben. Ha mindegyikük annyi ideig áll fönn, mint a Föld, akkor máris körülbelül milliárd-milliárd-milliárd bolygóévvél számolhatunk. Ez már megteszi! Egy szorzásösszeggel gyakorlati politikává alakult a csoda.

Van egy rejtett feltevés ebben az okfejtésben. Persze valójában egy csomó feltevés van, de én konkrétan egyről akarok beszélni. Ez pedig az, hogy ha egyszer az élet (azaz a replikátorok és az összegződő szelekció) már egyáltalán megjelent, akkor mindig eljut addig a pontig, hogy a teremtmények elegendő intelligenciát fejlesztenek ki a saját eredetükről való spekuláláshoz. Ha ez nem így van, akkor ennek megfelelően le kell szállítanunk azt a becslésünket, hogy mennyi szerencsét szabad föltétéleznünk. Hogy még pontosabbak legyünk, azt a maximális esélyt, amit elméleteinkben adunk szabad az élet keletkezésének bármely bolygón, úgy kapjuk meg, hogy a világegyetem bolygónak számát elosztjuk azzal az eséllyel, hogy az élet, ha egyszer már megindult, elegendő intelligenciát fejleszt ki ahhoz, hogy saját eredetéről spekuláljon.

Kissé furcsának hathat, hogy egy figyelemre méltó változó az a megállapítás: „elegendő intelligenciája volt ahhoz, hogy saját eredetéről spekuláljon”. Hogy megértsük, miért fontos ez, vegyünk szemügyre egy alternatív feltevést. Tegyük fel, hogy az élet megjelenése nagyon is valószínű esemény volt, ám az intelligencia ezt követő kifejlődése rendkívül valószínűtlen, amihez óriási szerencse kellett. Tegyük fel, hogy az intelligencia keletkezése annyira valószínűtlen, hogy csupán egyetlen bolygón történt meg az Univerzumban, noha az élet sok bolygón megindult. Ebből, mivel tudjuk, hogy kellőképpen intelligensek vagyunk e kérdés tárgyalásához, tudjuk, hogy a Föld kell legyen ez az egyetlen bolygó. Mármost tegyük fel, hogy az élet eredete, és ha már élet van, akkor az intelligencia eredete, *egyaránt* nagyon valószínűtlen esemény. Akkor annak a valószínűsége, hogy egyetlen bolygó, például a Föld, mindkét óriási szerencsében részesül, a két alacsony valószínűség *szorzata*, s ez pedig sokkal kisebb valószínűség.

Olyan ez, mintha a szerencséből csak egy bizonyos adagot volna szabad föltételeznünk arra, hogy miként jöttünk létre. Ennek az adagnak a felső határa a világegyetem szóba jöhető bolygóinak száma. Ha már megkaptuk szerencseadagunkat, akkor ezt a korlátozott mennyiséget felhasználhatjuk saját létünk magyarázatára. Ha majdnem az egész szerencseadagunkat fölhasználjuk abban az elméletünkben, hogy miként kezdődött az élet egy bolygón, akkor már csak nagyon kevés további szerencsét van módunk föltételezni elméletünk hátralevő részeiben, mondjuk az agy és az intelligencia összegződő evolúciójában. Ha nem használjuk föl a teljes szerencseadagunkat az élet eredetére vonatkozó elméletünkben, akkor még marad az ezt követő evolúcióra vonatkozó elméleteink számára is, arra a szakaszra, amikor az összegződő kiválasztódás már megindult. Ha szerencseadagunk legnagyobb részét az intelligencia eredetére vonatkozó elméletünkben akarjuk fölhasználni, akkor nem sok marad, amit az élet eredetére vonatkozó elméletünkre fordíthatunk: ebben az esetben olyan elmélettel kell előállnunk, amely az élet eredetét szinte kikerülhetetlenné teszi. Vagy ha elméletünk e két szakaszához nincs szükségünk a teljes szerencseadagra, akkor ezt a fölösleget felhasználhatjuk arra, hogy föltételezzük az élet létét a világegyetem más részein.

Magam úgy érzem, hogy ha az összegződő szelekció egyszer már kellőképpen beindult, akkor csak viszonylag csekély mennyiségű szerencsét kell feltételeznünk az élet és az intelligencia ezt követő kifejlődésében. Az összegződő szelekció, ha egyszer már megindult, eléggé erősnek látszik ahhoz, hogy az intelligencia kialakulását valószínűvé, ha nem kikerülhetetlenné tegye. Ez azt jelenti, hogy ha akarjuk, gyakorlatilag a teljes föltételezhető szerencseadagunkat elkölthetjük egyetlen nagy dobásra, arra az elméletre, hogy miként alakul ki az élet egy bolygón. Ezért – ha föl akarjuk használni – felső határként 1 a százmilliárd-milliárdhoz (vagy 1 a létező bolygók számához) esélyünk van, amit az élet keletkezésére vonatkozó elméletünkre költhetünk. Ez az a maximális mennyiségű szerencse, amit elméletünkben

feltételezhetünk. Azt akarjuk javasolni például, hogy az élet akkor kezdődött, amikor mind a DNS, mind annak fehérje alapú másológépezete spontán módon létrejött. Megengedhetjük magunknak az ilyen külön elmélet luxusát, feltéve, hogy az esélyek azzal szemben, hogy egy bolygón ez a véletlen egybeesés bekövetkezzék, nem haladják meg a százmilliárd-milliárdot az egyhez.

Ez elég nagy tűrésnek látszik. Valószínűleg elegendő ahhoz, hogy helyet adjon a DNS vagy az RNS spontán keletkezésének. Ám közel sem elegendő ahhoz, hogy teljesen meglehessünk az összegződő szelekció nélkül. Az esélyek azzal szemben, hogy egyetlen szerencsés véletlennel – egylépéses szelekcióval – olyan jól tervezett testet állítsunk össze, amely egyszerre repül és fecske, vagy úszik és delfin, vagy lát és sólyom, elképzelhetetlenül nagyobb, mint a világegyetem atomjainak száma, nem is beszélve a bolygók számánál! Biztosan jó adag összegződő szelekcióra lesz szükségünk az életre adott magyarázatunkban.

Jóllehet az élet eredetének elméletében jogosultak vagyunk a szerencse maximális adagját elkölteni, ami talán a százmilliárd-milliárd az egyhez arányt is eléri, az a sejtelmem, hogy ennek az adagnak csupán egy kis töredékére van szükségünk. Az élet keletkezése egy bolygón csakugyan nagyon valószínűtlen esemény lehet mindennapi léptékünkkel mérve vagy a kémiai laboratórium léptékével mérve, mégis kellőképpen valószínű lehet ahhoz, hogy az egész világegyetemben akár nem is csupán egyszer előforduljon. A bolygók számára vonatkozó statisztikai érvet tekinthetjük utolsó menedéknek. A fejezet végén azt a paradox állítást teszem, hogy a keresett elméletnek valószínűtlennek *kell* lennie, sőt csodálatosnak, szubjektív megítélésünk szerint (amiatt, ahogyan szubjektív ítéletünket meghozzuk). Mégis értelmes dolog, ha a lehető legkevesebb valószínűtlenséget engedjük meg, amikor az élet eredetére vonatkozó elméletet keressük. Ha ez az elmélet, amely szerint a DNS és annak másológépezete spontán módon jött létre, annyira valószínűtlen, hogy annak feltételezésére kötelez bennünket, hogy az élet nagyon ritka a világegyetemben, sőt esetleg kizárólag a Földre jellemző, akkor először is ahhoz menekülhetünk, hogy egy valószínűbb elméletet próbálunk találni. Fel tudunk-e tehát mutatni spekulációkat olyan viszonylag *valószínű* módokról, amelyek az összegződő szelekció megindulásához vezettek?

A „spekulálás” szónak vannak pejoratív felhangjai, itt azonban ezeknek semmi helyük. Spekulációnál többet nem remélhetünk, amikor azok az események, amelyekről beszélünk, négybillió évvel ezelőtt történtek, sőt olyan világban történtek, amely bizonyára gyökeresen eltért attól, amit ma ismerünk. Például egészen bizonyos, hogy nem volt a légkörben szabad oxigén. Noha a világ kémiája talán megváltozott, a kémia *törvényei* nem változtak (ezért nevezzük őket törvényeknek), s a modern vegyészek eleget tudnak ezekről a törvényekről ahhoz, hogy megalapozott spekulációik legyenek, olyanok, amelyeket a törvények által megszabott valószínűségi próbák-

nak kell alávetni. Nem spekulálhatunk vadul és felelőtlenül, szabadjára engedve képzeletünket olyan elégtelen úrfikciós varázsszerekre alapozva, mint a „hiperenergia”, a „görbült idő” és a „végtelen valószínűségi hajtóerők”. Az élet eredetére vonatkozó összes lehetséges spekulációk legtöbbjébe beleütközik a kémia törvényeibe és elvethető, még akkor is, ha teljes mértékben kihasználja a bolygók számával kapcsolatos statisztikai menedék érvényét. A gondos szelektív spekuláció tehát alkotó gyakorlat. Ám ehhez nem kell vegyésznek lennünk.

Biológus vagyok, nem vegyész, és meg kell bíznom a kémikusokban, hogy ítéleteik helyesek. Más-más vegyészek más-más elméleteket dédelgetnek, márpedig elméletekben nincs hiány. Megkísérelhetném, hogy részrehajlás nélkül az olvasó elé tárom ezeket az elméleteket. Ez volna a helyes eljárás egy tankönyvben. Ez azonban nem tankönyv. *A vak órásmester* alap gondolata az, hogy nem kell feltételeznünk alkotót ahhoz, hogy megértsük az életet vagy bármi egyebet az Univerzumban. Bennünket itt az foglalkoztat, hogy *milyen* megoldást kell találnunk, arra a problémára, amivel szembenézünk. Azt hiszem, ezt nem azáltal magyarázhatjuk meg legjobban, ha számtalan konkrét elméletet veszünk szemügyre, hanem ha *egy*et vizsgálunk meg, mint annak az alapproblémának a példáját – miként indult be az összegződő szelekció –, amelyet *esetleg* megoldhat.

Mármost melyik elméletet válasszam reprezentatív példa gyanánt? A legtöbb tankönyv a „szerves őselesen” alapuló elméletcsaládra helyezi a legnagyobb súlyt. Valószínűnek tűnik, hogy a Föld légköre az élet keletkezése előtt hasonló volt más bolygókéhoz, amelyek még mindig élettelenek. Nem volt oxigén, bőségesen volt hidrogén és víz, szén-dioxid, nagyon valószínű, hogy valamennyi ammónia, metán és más egyszerű szerves gázok. A vegyészek tudják, hogy az ilyen oxigénmentes klímák elősegítik szerves vegyületek spontán szintézisét. Lombikokban létrehozták a korai Föld feltételeinek miniatűr rekonstrukcióit. A lombikokon villámlást utánzó elektromos szikrákat és ibolyántúli fényt bocsátottak át, amely bizonyára sokkal erősebb volt, mielőtt a Földön kialakult volna a Nap sugaraitól védő ózonpajzs. Felvillanyozó volt az eredménye ezeknek a kísérleteknek. Szerves molekulák álltak össze spontán módon ezekben a lombikokban, némelyikük ugyanazokba az általános típusokba tartozott, amelyekkel normális körülmények között élő szervezetekben találkozunk csupán. Sem DNS, sem RNS nem bukkant föl, de ezeknek a nagy molekuláknak az építőkövei, a purin- és a pirimidinbázisok igen. Ugyanígy megjelentek a fehérjék építőelemei is, az aminosavak. A hiányzó láncszem az elméleteknek ebben az osztályában még mindig a másolás eredete. Az építőkövek még nem álltak össze olyan önmagát másoló lánczá, mint az RNS. Lehet, hogy egy nap ez is megtörténik.

Én mindenesetre nem a szerves őseles elméletet választottam annak illusztrálására, hogy milyen típusú megoldás után kell kutatnunk. *Az önző gén* című első könyvemben ezt választottam, ezért úgy gondoltam, itt egy

kevésbé divatos (bár újabban kezd előtérbe kerülni) elmélet mellett bontok zászlót, amelynek legalábbis van esélye arra, hogy helyes. Megnyerően vakmerő, és jól illusztrálja azokat a tulajdonságokat, amelyekkel az élet eredetének kielégítő elmélete minden bizonnyal rendelkezik. Ez Graham Cairns-Smith glasgow-i kémikus szervesetlen ásvány elmélete, amelyet húsz évvel ezelőtt vetett fel először, s azóta három könyvben fejlesztett tovább, amelyek közül a legújabb a *Hét kulcs az élet eredetéhez*; ebben az élet eredetét Sherlock Holmes-féle megoldást kívánó rejtélyként kezeli.

Cairns-Smith nézete szerint a DNS-gépezet/fehérjé gépezet valószínűleg viszonylag újonnan jött létre, talán úgy hárommilliárd évvel ezelőtt. Ezt megelőzően sok nemzedéknyi összegződő szelekcióra került sor, ami egészen más másoló entitásokon alapult. Amikor azután a DNS már megvolt, annyival hatékonyabbnak bizonyult replikátorként, és annyival nagyobb volt a hatása saját másolódására, hogy az azt nemző eredeti másolórendszer tovatűnt és feledésbe merült. A modern DNS-gépezet e nézet szerint később érkezett, az alapvető replikátorszerep újkori bitorlója, amely átvette ezt a szerepet a korábbi és durvább replikátortól. Lehet, hogy egész sor ilyen trónfosztásra került sor, de az eredeti másolási folyamatnak eléggé egyszerűnek kellett lennie ahhoz, hogy az általam „egylépéses szelekciónak” nevezett módon létrejöhessen.

A kémikusok tudományukat két fő ágra osztják, a szerves kémiára és a szervesetlen kémiára. A szerves kémia egy konkrét elem kémiája, a széné. Az összes többi a szervesetlen kémia. A szén fontos és megérdemli, hogy saját külön ága legyen a kémiában, részben azért, mert az élet kémiája teljes egészében a szén kémiája, részben pedig azért, mert ugyanazok a tulajdonságok, amelyek a szén kémiáját az élet számára alkalmassá teszik, alkalmassá teszik ipari eljárások számára is, például a műanyagipar számára. A szén-atomok lényegi tulajdonsága, ami olyannyira alkalmassá teszi az élet és az ipari szintézis számára, az, hogy összekapcsolódva nagyon nagy molekulák különböző fajtáinak végtelen repertoárját képesek kialakítani. Egy másik elem, amely ezen tulajdonságok némelyikével ugyancsak bír, a szilícium. Noha a mai Földhöz kötődő élet kémiája teljes egészében a szén kémiája, nem biztos, hogy ez az egész világegyetemre áll, és az sem biztos, hogy a Földön mindig igaz volt. Cairns-Smith úgy véli, hogy ezen a bolygón az eredeti élet önmagukat másoló szervesetlen kristályokon, például szilikátokon alapult. Ha ez igaz, akkor a szerves replikátorok és végül a DNS csupán később vette át vagy bitorolta el ezt a szerepet.

E „hatalomátvétel” általános valószínűsége mellett felhoz néhány érvet. A kő boltív például olyan stabil struktúra, amely sok éven át áll még akkor is, ha nem köti össze cement. Egy bonyolult szerkezet felépítése evolúció által olyan, mint amikor valaki megpróbál habarcs nélküli ívet építeni úgy, hogy egyszerre csak egy követ szabad megérintenie. Képzeljük el a feladatot naív módon, s akkor lehetetlen. A boltív megáll, amikor az utolsó kő a helyére kerül, a köztes állapotok viszont labilisak. Nagyon könnyű azon-

ban boltívet építeni, ha nem csupán hozzátehetünk köveket, hanem el is vehetünk. Kezdjük azzal, hogy szilárd kőhalmot építünk, azután pedig építsük az ívet ennek a szilárd alapnak a tetejére. Amikor azután az ív már a helyén van, beleértve a létfontosságú zárókövet is, akkor gondosan távolítsuk el az alátámasztó köveket, és egy csipetnyi szerencsével az ív állva marad. Stonehenge felfoghatatlan mindaddig, amíg rá nem jövünk, hogy az építők valamiféle állványzatot használtak vagy esetleg földrámpákat, *amelyek már nincsenek ott*. Csak a végterméket láthatjuk, s a tovatűnt állványzatra következtetnünk kell. A DNS és a fehérje hasonlóképpen két pillére egy stabil és elegáns boltívnek, amely attól kezdve fennáll, hogy összes része egyidejűleg létezik. Nehéz elképzelni, hogy valamilyen lépésről lépésre haladó folyamatban emelkedett, hacsak azt nem tételezzük föl, hogy valamilyen korábbi állványzat tökéletesen eltűnt. Ez az állványzat maga is bizonyára az összegződő kiválasztódás valamilyen korábbi formája segítségével épült, amelynek természetét csak sejtethetjük. De olyan másolódó entitásokon kellett alapulnia, amelyeknek hatalmuk volt saját műveik fölött.

Cairns-Smith sejtése szerint az eredeti replikátorok szeretlen anyagok kristályai voltak, amilyenekkel az agyagban és a sárban találkozunk. A kristály nem más, mint atomok vagy molekulák szilárd állapotú, nagy, rendezett sora. Az atomok és a kis molekulák olyan tulajdonságok miatt, amelyeket leginkább „alakjukként” gondolhatunk el, természetes módon állnak össze rögzített és rendezett módon. Szinte olyan, mintha egy adott módon „akarnának” összeilleszkedni, ám ez az illúzió csupán tulajdonságaik szándékolatlan következménye. „Kedvenc” összeilleszkedési módjuk alakítja az egész kristály formáját. Ez azt is jelenti, hogy még egy nagy kristályban is, mint amilyen például a gyémánt, a kristály bármely része *pontosan* ugyanolyan, mint bármely más része, eltekintve a hibáktól. Ha atom méretűvé tudnánk zsugorodni, akkor szinte végtelen atomsorokat látnánk, amelyek egyenes vonalban nyúlnak el a látóhatáron – a mértani ismétlődés galériájaként.

Mivel bennünket a másolódás érdekel, az első dolog, amit tudnunk kell, hogy a kristályok képesek-e ismételtelen lemásolni szerkezetüket. A kristályok atomrétegek milliárdjaiból állnak, és minden egyes réteg az alatta levő rétegre épül rá. Az atomok (ionok; a különbség nem kell, hogy foglalkoztasson bennünket) szabadon lebegnek az oldatban, ám amikor véletlenül kristállyal találkoznak, természetes hajlamuk, hogy elfoglalják helyüket a kristály felszínén. A közönséges sóoldatban nátriumionok és kloridionok lökődősen összeviszsa többé-kevésbé kaotikus módon. A közönséges sókristály egymást derékszögben váltogató nátrium- és kloridionok tömör, rendezett sora. Amikor a vízben lebegő ionok véletlenül nekiütköznek a kristály kemény felszínének, többnyire ottmaradnak. És pontosan a megfelelő helyhez kapcsolódnak, hogy ezzel új réteget adjanak a kristályhoz, pontosan olyat, mint az alattuk levő. Ha tehát egy kristály képződése egyszer már megindult, akkor növekszik, és minden rétege azonos az alatta levővel.

A kristályok néha spontán módon kezdenek kialakulni egy oldatban. Máskor be kell az oldatot oltani, akár porrészeszkékkel, akár máshonnan vett kis kristályokkal. Cairns-Smith arra biztat bennünket, hogy végezzük el a következő kísérletet. Oldjunk fel nagy mennyiségű fényképészetben használatos fixírsót nagyon forró vízben. Azután hagyjuk az oldatot lehűlni, és ügyeljünk, nehogy por szálljon bele. Az oldat most túltelített, kész arra, hogy kristályosodjon, de nincs benne magkristály a folyamat elindításához. Idézet Cairns-Smith *Hét kulcs az élet eredetéhez* című könyvéből:

„Óvatosan vegyük le a tetőt az edényről, tegyünk egy piciny fixírsókristályt az oldat felszínére, és nézzük megdöbbenve, mi történik. Kristályunk láthatóan növekszik: időről időre széttörik, és a darabok ugyancsak nőnek... Edényünkben hamarosan hemzsegnék a kristályok, némelyikük több centiméter hosszú. Azután néhány perc múlva az egész leáll. A bűvös oldat elvesztette varázserejét – jöllehet, ha újabb műsorra vársz, egyszerűen melegítsd fel és hűtsd le újra az edényt... A túltelítettség azt jelenti, hogy a kelleténél több anyag van oldva... A hideg, túltelített oldat szinte szó szerint nem tudja, mit tegyen. Meg kell neki „mondani” azáltal, hogy hozzáadunk egy darabka kristályt, amelynek már megvannak az egységei (milliárdok és milliárdok) a fixírsókristályokra jellemző módon összesűrítve. Az oldatot be kell oltani.”

Bizonyos vegyi anyagok képesek két alternatív módon kristályosodni. A grafit és a gyémánt például egyaránt a tiszta szén kristályai. Atomjaik azonosak. A két anyag csupán abban a geometriai mintázatban különbözik egymástól, ahogyan a szénatomok össze vannak csomagolva. A gyémántban a szénatomok tetraéder mintázatban állnak össze, amely rendkívül stabil. Ezért olyan kemény a gyémánt. A grafitban a szénatomok egymás tetején helyezkedő, lapos hatszögekbe rendeződnek. A rétegek közti kötések gyengék, s ezért el tudnak egymáson csúszni, ez az oka, hogy a grafitot csúszósnak érezzük és kenőanyagként használjuk. Sajnos gyémántot nem tudunk beoltással kikristályosítani egy oldatból, mint ahogy a fixírsót. Ha lehetne, gazdagok lennénk; nem, ha jobban belegondolunk, nem lennénk gazdagok, mivel akkor minden bolond meg tudná csinálni.

Mármost tegyük föl, hogy van egy túltelített oldatunk valamilyen anyagból, amely olyan, mint a fixírsó annyiban, hogy kész az oldatból kikristályosodni, és hasonlít a szénre abban, hogy képes kétféleképpen kristályosodni. Az egyik mód a grafitra emlékeztetne, ahol az atomok rétegekbe rendeződnek kicsiny, lapos kristályokat adva; míg a másik mód darabos, gyémánt formájú kristályokhoz vezetne. Mármost túltelített oldatunkba egyidejűleg dobunk apró, lapos kristályokat és apró, darabos kristályokat. Elképzelhetjük mi fog történni, ha továbbgondoljuk a fixírsós kísérlet Cairns-Smithtől származó leírását. Két kristályunk láthatóan növekszik: időnként eltörnek, és a darabok szintén növekszenek. A lapos kristályokból lapos kristályok populációja kelekezik. A darabos kristályok darabos kristályok népességét keltik életre. Ha fennáll a tendencia, hogy egyik kristálytípus gyorsabban növekszik és hasad, mint a másik, akkor a természetes szelekció egyszerű típusával állunk szemben. A folyamatból azonban még mindig hiányzik egy

létfontosságú elem ahhoz, hogy evolúciós változás állhasson elő. Ez az elem az öröklődő változékonyság vagy valami ezzel egyenértékű dolog. A pusztán két kristálytípus helyett kisebb változatok egész tartományára volna szükség, amelyek hasonló formájú leszármazási vonalakat alkotnak, amelyek néha „mutálnak”, s így új alakokat hoznak létre. Vajon a valódi kristályok rendelkeznek az öröklődő mutáció megfelelőivel?

Az agyag, a sár, a kő kicsiny kristályokból áll. Rengeteg van belőle a Földön, és valószínűleg mindig is volt. Ha pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáljuk bizonyos fajta agyag és más ásványok felszínét, csodálatos és szépséges látványban van részünk. A kristályok úgy nőnek, mint virágok vagy kaktuszok sorai, szervesen rózsakertek, pozsgás növények keresztmetszetére emlékeztető, kicsiny spirálok, egymásra torlódó orgonasípok, bonyolult szögeket alkotó formák bomlanak ki, mintha miniatűr kristály origamik lennének, kukacra vagy kinyomott fogpaszttára emlékeztető, tekerő formák. Nagyobb nagyítással a mintázatok még meghökkentőbbek. Olyan nagyításnál, amely elárulja az atomok tényleges helyzetét, a kristály felszíne a géppel szőtt halszálkás tweed összes szabályosságát mutatja. Ám – s itt a lényeg – vannak benne hibák. Egy nagyobb kiterjedésű, rendezett halszálka minta kellős közepén lehet egy folt, a többivel azonos, de más szögbe van elfordítva, s így a „szövés” más irányba fut. Vagy lehet a szövés ugyanabban az irányban, de minden sor felsornyt az egyik oldalra „csúszott”. Szinte minden természetben előforduló kristályban van hiba. S ha egyszer a hiba már megjelent, akkor jobbra át is másolódik azokba a kristályrétegekbe, amelyek a tetejébe rétegződnek.

Hiba bárhol előfordulhat egy kristály felszínén. Ha az olvasó szeret információátviteli képességről gondolkodni (én szeretek), akkor elképzelheti, milyen elképesztően nagyszámú hibamintázat hozható létre egy kristály felszínén. Mindazok a számítások, amelyekkel kimutattuk, hogy az Újszövetség beírható egyetlen baktérium DNS-ébe, ugyanilyen hatásosan végezhetők el szinte bármely kristállyal. A DNS abban van fölényben a szabályos kristályokkal szemben, ahogyan ez az információ kiolvasható. Nem törődve a kiolvasás problémájával, könnyen tervezhetünk olyan önkényes kódot, amely által a kristály atomszerkezetének hibái bináris számokat jelölnek. Ekkor azután több Újszövetséget csomagolhatnánk egy akkora ásványkristályba, mint a tű hegye. Más nagyságrendben lényegében így tárolják az információt egy lézerlemez (kompakt lemez) felszínén. A zenei hangokat számítógéppel bináris számokká alakítják. Lézerrel kicsiny hibamintázatokat égetnek a lemez egyébként üvegsima felszínére. Minden egyes beleégetett lyuk megfelel egy bináris 1-esnek (vagy 0-nak, az elnevezés önkényes). Amikor lejátszunk a lemezt, akkor egy másik lézersugár „kiolvassa” a hibamintázatot, és egy beépített speciális célszámítógép a bináris számokat visszaalakítja hangrezgésekké, amelyeket fölerősítenek, s így hallgathatjuk a zenét.

Noha a lézerlemezeket ma elsősorban zene rögzítésére használják, egy

ilyenre rátehetjük az egész *Encyclopaedia Britannicát*, és ugyanazt a lézertechnikát használva ki is olvashatjuk. Az atomi szintű kristályhibák sokkal kisebbek, mint a lézerlemez felszínére égetett mélyedések, s így a kristályok potenciálisan sokkal több információt tárolhatnak össze egy adott területre. Csakugyan, a DNS-molekula, amelynek információátviteli képessége már kellő hatást tett ránk, elég közel van magukhoz a kristályokhoz. Jóllehet az agyagkristályok elméletileg ugyanolyan hatalmas információmennyiségek tárolására képesek, mint a DNS vagy a lézerlemez, senki sem állítja, hogy ez valaha is megtörtént. Az agyagnak és más ásványi kristályoknak a szerepe az elméletben az, hogy az eredeti, „hagyományos” replikátorokként szerepeljenek, amelyeket azután végül a csúcstechnológiát képviselő DNS váltott fel. Ezek spontán módon alakulnak ki bolygónk vizeiben, anélkül a bonyolult „gépezet” nélkül, amelyre a DNS-nek szüksége van; s némelyikben olyan spontán hibák keletkeznek, amelyek egyike-másika azután másolható a kristály következő rétegeibe. Ha a kellőképpen hibás kristály töredékei később leválnak, akkor elképzelhetjük, hogy új kristályok magjaként szolgálnak, s így mindegyikük öröklő „szüleinek” hibamintázatait.

Így spekulatív képet alkothatunk az ősi Föld ásványkristályairól, s eszerint azok mutatják a másolódás, többszöröződés, öröklés és mutáció tulajdonságait, amelyekre minden bizonnyal szükség volt, hogy az összegződő szelekció beindulhasson. De még mindig itt van a „hatalom” hiányzó eleme: amikor elvontan beszéltünk a replikátorokról, láttuk, hogy a „hatalom” lehet egyszerűen magának a replikátornak közvetlen tulajdonsága, olyan benső tulajdonság, mint a „ragacsosság”. Ezen az elemi szinten a „hatalom” elnevezés használata aligha látszik jogosultnak. Csupán amiatt használom, amivé az evolúció későbbi szakaszaiban válik; a kígyó méregfogának hatalma például (a kígyó életben maradására gyakorolt közvetett következményein keresztül) a méregfog kódolására szolgáló DNS terjesztése. Sejtésünk szerint az eredeti, hagyományos replikátorok – akár ásványi kristályok voltak, akár magának a DNS-nek szerves, közvetlen elődei – által gyakorolt „hatalom” közvetlen és elemi volt, mint a ragadósság. A hatalom fejlettebb emeltyűi, mint a kígyó méregfoga vagy egy orchidea virág, jóval később jöttek.

Mit jelenthet a „hatalom” egy agyag számára? Az agyag nem mellékes tulajdonságai befolyásolhatnák annak valószínűségét, hogy ugyanez a változat terjed el a vidéken. Az agyakok kémiai építőelemekből állnak, például kovasavból és fémionokból, amelyeket folyók és patakok mosnak ki a sziklából fentebb, a folyás mentén. Ha a feltételek megfelelőek, akkor az oldatból lejjebb újra kikristályosodnak és agyagot képeznek. (Tulajdonképpen itt sokkal inkább a talajvíz átszivárgásáról és átszűrődéséről van szó, és nem egy folyó áramlatáról. De az egyszerűség kedvéért a továbbiakban az általános áramlat szót fogom használni.) Az, hogy egy agyagkristálytípus felépülhet-e vagy sem, egyebek között az áramlás sebességétől és mintázata-

tól függ. Am az agyaglerakódás is *befolyásolhatja* az áramlat folyását. Ezt véletlenül érik el, megváltoztatva annak a földnek a szintjét, formáját s textúráját, amelyen a víz keresztülfolyik. Nézzünk meg egy olyan agyagváltozatot, amely történetesen olyan tulajdonságú, hogy a talaj szerkezetét úgy formálja át, hogy ettől a víz folyása felgyorsul. Ennek az lesz a következménye, hogy az érintett agyagot a víz újra elmossa. Ez az agyagtípus a definíció szerint nem különösebben „sikeres”. Egy másik sikertelen agyag lehet az, amely úgy változtatja meg a vízfolyást, hogy az egy rivális agyagváltozatnak kedvez.

Természetesen nem azt mondjuk, hogy az agyagok tovább „akarnak” létezni. Mindig csupán mellékes következményekről beszélünk, olyan eseményekről, amelyek a replikátor éppen meglevő tulajdonságaiból következnek. Vegyünk szemügyre egy további agyagváltozatot. Történetesen ez lelassítja a víz folyását oly módon, hogy ezzel elősegíti a *saját* agyagfajtájának jövőendő lerakódását. Nyilvánvaló, hogy ez a második változat könnyen uralkodóvá válhat, mivel az áramlatokat a saját „előnyére” manipulálja. Ez „sikeres” agyagváltozat lesz. Ám mindeddig csupán egy lépéses kiválasztódással foglalkoztunk. Vajon beindulhat az összegződő szelekció valamilyen formája?

Spekuláljunk egy kicsit tovább és tételezzük fel, hogy egy agyagvariáns azáltal javítja lerakódási esélyeit, hogy gátat emel az áramlatok elé. Ez az agyag szerkezetében egy sajátos hiba véletlen következménye. Az olyan áramlatokban, amelyekben megtalálható ez a fajta agyag, nagy, sekély, álló tavak alakulnak ki a gátak fölött, és a víz fő folyása új mederbe terelődik. Ezekben az álló tavakban még több ülepedik le ebből az agyagfajtából. Az ilyen sekély tavak egymás után alakulnak ki és burjánzanak az olyan áramlat mentén, amely történetesen „fertőződött” ennek az agyagnak a kristályaival. Mármint: mivel az áramlat fő folyása elterelődött, a száraz évszakban a sekély tavak jobbára kiszáradnak. Az agyag kiszárad és megrepedezik a napon, a felső rétegeket porként elfújja a szél. Minden egyes porrészecské öröklí a szülő agyag jellegzetes hibaszerkezetét, ami a gát kialakulását okozza. A fűzfáról a csatornába esőként hulló genetikai információ analógiáját felhasználva azt mondhatnánk, hogy a por „utasításokat” hordoz arról, hogyan kell áramlatokat gáttal elrekeszteni és végül még több port előállítani. A por széltében-hosszában elterjed a szél szárnyán, s jó esélye van arra, hogy néhány részecskéje egy másik áramlatban érjen vizet, amelyet eddig még nem „fertőzött” meg ez a gátépítő agyag. Amint a megfelelő fajta porral fertőződött, az új áramlat elkezd növeszteni a gátépítő agyag kristályait, és az egész lerakódási, gátépítési, száradási és eróziós ciklus előről kezdődik.

Ha ezt „életciklusnak” neveznénk, akkor megkerülnénk egy fontos kérdést, azonban mégiscsak egy fajta ciklus ez, és közös benne a valódi életciklusokkal az a képessége, hogy összegződő szelekciót vált ki. Mivel az áramlatokat más áramlatoktól odafújtt pormagok fertőzik, az áramlatokat ősök és

utódok szerint rendezhetjük sorba. A B áramlatba a tavakat gátakkal elrekesztő agyag az A áramlatból odafűjt porkristályok formájában érkezett. Végül a B áramlat tavai kiszáradnak, por keletkezik bennük, amely meg fogja fertőzni az F és a P áramlatot. A gátépítő agyagok forrása szempontjából az áramlatokat „családfákba” rendezhetjük. Minden fertőzött áramlatnak van egy szülőáramlata, és lehet egynél több leányáramlata. Mindegyik áramlat egy testtel analóg, amelynek „fejlődését” „pormaggé- nek” befolyásolják. A test végül is új pormagokat hoz létre. A ciklusban „új nemzedék” indul útjára, amikor a magkristályok por formájában leszakadnak a szülőáramlatról. Az egyes porrészeszekék kristályszerkezete a szülő- áramlatban levő agyagról másolódott. Ez a kristályszerkezet továbbadódik a leányáramlatnak, ahol az növekszik és sokszorozódik, és végül ismét magokat küld tovább.

Az ősi kristályszerkezet megőrződik a nemzedékek során, hacsak a kristály növekedésében véletlen hiba nem fordul elő, az atomok elrendeződésének véletlen megváltozásából. Ugyanennek a kristálynak az egymást követő rétegei ugyanazt a hibát másolják le, s ha a kristály kettéválk, akkor ezzel a megváltozott kristályok új alpopulációja keletkezik. Ha ettől a változástól a kristály akár hatékonyabb, akár kevésbé hatékony lesz a gátépítő/száradó/eróziós ciklusban, akkor ez hatással lesz arra, hogy hány másolata lesz a rá következő „nemzedékekben”. Előfordulhat például, hogy a megváltozott kristályok nagyobb valószínűséggel hasadnak („szaporodnak”). A megváltozott kristályokból kialakult agyagnak a legkülönbözőbb módon lehet nagyobb gátépítő hatalma. Lehet, hogy adott mennyiségű napsütéstől könnyebben repedezik meg. Könnyebben morzsolódhat porrá. A pormagok könnyebben szállhatnak a szelek szárnyán úgy, mint a fűzfamag pelyhei. Bizonyos kristálytípusok az „életciklus” megrövidülését idézhetik elő, és ennek következtében „evolúciójuk” felgyorsulhat. Az egymást követő „nemzedékek” számára sok alkalom adódik arra, hogy egyre jobbakká váljanak abban, hogy a rá következő nemzedékeknek átadódjanak. Más szóval, sok alkalom nyílik számukra arra, hogy kezdetleges összegződő szelekció induljon be.

A fantáziának ezek a kis szárnyalásai, Cairns-Smith saját ékességei, csupán egyet vesznek szemügyre az ásványi „életciklus” számos fajtája közül, amelyek megindíthatták volna az összegződő szelekciót a maga nagy jelentőségű útján. Vannak mások is. Eltérő kristályváltozatok új áramlatokhoz nem azáltal találhatnak utat, hogy pormagokká morzsolódnak, hanem azáltal, hogy áramlatukat sok, kicsi áramlatocskára szabdalják föl, amelyek szétterjednek, s végül új folyórendszerekhez csatlakoznak, és megfertőzik őket. Más változatok vízeséseket hozhatnak létre, amelyek a sziklákat gyorsabban koptatják le, s ennél fogva gyorsabban juttatják oldatba azokat az agyagokat, amelyek a folyás mentén lejjebb új agyagok kialakításához szükségesek. Egyes kristályváltozatok azáltal javíthatják teljesítményüket, hogy megnehezítik a feltételeket azon „rivális” változatok számára, amelyek

a nyersanyagokért versengenek velük. Megint más változatok „ragadozóká” válhatnak, s összetörhetik a rivális változatokat, elemeiket pedig nyersanyagként használhatják fel. Továbbra se felejtjük el, hogy nincs szó szándékos teremtésről, sem itt, sem a mai DNS-alapú életben. Csupán arról van szó, hogy a világ automatikusan megtelik az agyag (vagy a DNS) azon változataival, amelyeknek véletlenül olyan tulajdonságaik vannak, amik lehetővé teszik számukra, hogy fennmaradjanak és elterjedjenek.

Lépjünk most tovább érvelésünk, okfejtésünk következő szakaszába. A kristályok bizonyos leszármazási vonalai katalizálhatják olyan új anyagok szintézisét, amelyek segítik, hogy nemzedékről nemzedékre átadódjanak. Ezeknek a másodlagos anyagoknak (legalábbis eleinte) nem lenne saját leszármazási vonaluk, hanem az elsődleges replikátorok minden nemzedéke újra és újra előállítaná őket. Ezek lehetnének a másolódo kristályszármazási vonalak eszközei, a primitív „fenotípusok” kezdetei. Cairns-Smith úgy véli, hogy a *szerves molekulák* kiemelkedő szerepet játszottak szerves kristály replikátoraik nem másolódo „eszközei” között. A szerves vegyiparban gyakran használnak szerves molekulákat a folyadékok áramlására gyakorolt hatásaik miatt, és mert befolyásolják a szerves részecskék törését vagy növekedését: röviden pontosan azok miatt a hatások miatt, amelyek befolyással lehetnek a másolódo kristályok származási vonalainak sikerére. Például a montmorillonit nevű agyagásvány hajlamos feldarabolódni egy szerves molekula, a karboxi-metil-cellulóz jelenlétében. A kisebb mennyiségű karboxi-metil-cellulóz viszont éppen ellenkező hatású: elősegíti, hogy a montmorillonit-részecskék együtt maradjanak. A tannint, egy másik szerves molekulát az olajiparban használják, mert a segítségével könnyebb az agyagot fűrni. Ha az olajfűrők felhasználhatnak szerves molekulákat az agyag fűrhatóságának manipulálására, akkor miért ne használhatta volna fel az összszegződo szelekció az önmásoló ásványok esetében?

Cairns-Smith elmélete amolyan ráadásként még elfogadhatóbb, ha tudjuk, hogy más vegyészek, akik a konvencionálisabb, szerves őseles elméleteket támogatják, már régen elfogadták, hogy az agyagásványok segítségünkre lehetnek. Hadd idézzem egyiküket (D. N. Andersont):

„Széles körben elfogadott dolog, hogy néhány vagy talán sok azok közül az abiotikus kémiai reakciók és folyamatok közül, amelyek a Földön a replikálódo mikroorganizmusok eredetéhez vezettek, a Föld történetében nagyon hamar megjelentek, szoros közelségben az agyagásványok és más szerves szubsztátumok felszínéhez.”

Ez a szerző a továbbiakban az agyagásványok öt funkcióját sorolja föl, amelyek segítették a szerves élet kialakulását, például „a kémiai reagensek koncentrációja adszorpcióval”. Nincs rá szükség, hogy itt kifejtjük és megértsük ezeket. A mi szempontunkból az a fontos, hogy az agyagásványoknak ez az öt funkciója megfordítható. Rámutat arra a szoros kapcsolatra, amely a szerves vegyi szintézis és az agyag felszíne között fennállhat. Ezért

nyereség annak az elméletnek a számára, amely szerint az agyagreplikátorok szintetizálták a szerves molekulákat, és saját céljaikra használták őket.

Cairns-Smith tárgyalja – részletesebben, semmint hogy én itt helyet adhatnék neki –, hogy miként használhatták kezdetben az agyagkristály replikátorok a fehérjéket, a cukrokat és ami a legfontosabb, az RNS-hez hasonló nukleinsavakat. Szerinte az RNS-t eleinte tisztán szerkezeti célokra használták, ahogyan az olajfűrók használják a tannint vagy mi használjuk a szappant és a mosószereket. Az RNS-hez hasonló molekulák negatív töltésű gerincük miatt többnyire az agyagrészecskék külső oldalát vonták be. Ez a kémia birodalmába visz minket, ami kívül esik témakörünkön. Céljaink szempontjából az a fontos, hogy az RNS, vagy valami hozzá hasonló, már réges-régen létezett, mielőtt önmásolóvá vált volna. Amikor végül is önmásolóvá vált, akkor olyan eszköz volt, amit az ásványi kristály „génjei” fejlesztettek ki az RNS-gyártás (vagy valamilyen hasonló molekula gyártása) hatékonyságának növelésére. Ám attól a pillanattól, hogy új, önmagát másoló molekula keletkezett, az összegződő szelekció új típusa indulhatott be. Az eredetileg mellékszerepet vivő új replikátorok annyival hatékonyabbnak bizonyultak az eredeti kristályoknál, hogy átvették a hatalmat. Tovább fejlődtek, és végül a ma ismert DNS-kódban érték el a tökélyt. Az eredeti ásványreplikátorokat, mint kiszolgált állványzatot félredobták, és az egész modern élet egy viszonylag új, közös ősből fejlődött ki, egyetlen egyöntetű genetikai rendszerrel és nagyrészt egyöntetű biokémiával.

Az önző gén c. munkámban arról spekuláltam, hogy ma talán egy újfajta genetikai hatalomátvétel küszöbén állunk. A DNS-replikátorok „túlélőgépeket” építettek maguknak – az élő szervezetek testét, magunkat is beleértve. Felszerelésük részeként a testek fedélzeti számítógépeket – agyakat – fejlesztettek ki. Az agyak kifejlesztették a más agyakkal való kommunikáció képességét a nyelv és a kulturális öröklődés eszközével. Ám a kulturális öröklődés új miliője az önmásoló entitások számára új lehetőségeket nyit. Az új replikátor nem DNS és nem agyagkristály. Ezek információmintázatok, amelyek csak agyakban vagy az agyak mesterségesen előállított termékeiben – könyvekben, számítógépekben stb. – boldogulnak. Ám, ha az agyak, könyvek és számítógépek léteznek, akkor ezek az új replikátorok, amelyeket a génektől megkülönböztetendő mémeknek neveztem el, terjeszthetik magukat agyról agyra, agyról könyvre, könyvről agyra, agyról számítógépre, számítógépről számítógépre. Fejlődésük közben változhatnak – mutálhatnak. És talán a „mutáns” mémek kifejthetnek olyan hatást, amit én itt „replikátorhatalomnak” nevezek. Emlékezzünk rá, hogy ennek jelentése bárminemű befolyás, ami a saját terjedésének valószínűségét érinti. Az új replikátorok hatása alatti evolúció – a mémikus evolúció – ma még csecsemőkorát éli. Ez az általunk kulturális evolúciónak nevezett jelenségekben ölt testet. A kulturális evolúció sok nagyságrenddel gyorsabb, mint a DNS alapú evolúció, még inkább okot ad a „hatalomátvétel” eszméjéről való gondolkodásra. S ha egy újfajta replikátor hatalomátvétele kezdetét

veszi, akkor elképzelhető, hogy ez odáig jut, hogy szülő DNS-ét (és ha Cairns-Smith-nek igaza van, akkor nagyszülő agyagját) messze maga mögött hagyja. Ha így van, akkor szinte biztosak lehetünk abban, hogy a számítógépek befutnak.

Lehetséges, hogy egy távoli napon intelligens számítógépek spekulálnak majd saját elvesztett eredetükről? Egyikük talán abba az eretnek igazságba fog botlani, hogy az életnek valami távoli, korai formájából származnak, amely szerves, szén alapú kémiában gyökerezik, és nem saját testük szilícium alapú elektronikus elveiben. Ír-e vajon egy robot Cairns-Smith könyvet Elektronikus hatalomátvétel címmel? Újra felfedezi-e vajon a boltív hasonlat valamely elektronikus megfelelőjét és rájön-e, hogy a számítógépek nem szökkenhettek spontán módon a világra, hanem az összegződő szelekció valamilyen korábbi folyamatában kell gyökerezniük? Belemegy-e a részletekbe és rekonstruálja-e a DNS-t mint kézenfekvő, korai replikátort, az elektronikus hatalomátvétel áldozatát? És lesz-e vajon eléggé messzelátó, hogy megsejtse, maga a DNS legyőzője még távolabbi és primitívebb replikátoroknak, a fejletlen szilikátkristályoknak? Ha van benne költői szellem, lát-e vajon igazságtételt abban, hogy végül is visszatér a szilícium alapú élet, a DNS nem több közjátéknál, jóllehet ez a közjáték három eonnál is tovább tartott?

Ez tudományos fantasztikum, és valószínűleg hihetetlenül hangzik. Ez nem számít. Ebben a pillanatban érdekesebb, hogy Cairns-Smith saját elmélete, sőt az élet eredetére vonatkozó összes többi elmélet a földtől elrugaszkodottnak, nehezen hihetőnek hangozhat az olvasó számára. Rettentő valószínűtlennek találja mind Cairns-Smith agyagelméletét, mind az óhitűbb, szerves őseles elméletet? Úgy hangzik az Ön számára, mintha csodára volna szükség ahhoz, hogy véletlenszerűen lökdösődő atomok önmásoló molekulákká álljanak össze? Nos, néha nekem is így hangzik. Nézzünk mélyebbre ezekbe a csodákba és valószínűtlenségekbe. Eközben rámutatok valamire, ami paradox, de attól még nagyon érdekes. Ez pedig az, hogy tudósokként kicsit még idegeseknek is kellene lennünk, ha az élet eredete *nem* tűnne az emberi tudatunk számára csodálatosnak. Egy látszólag (a közönséges emberi tudat számára) csodálatos elmélet *pontosan* az a fajta elmélet, amit keresnünk kell az élet eredetének ebben a konkrét esetében. Ez az okfejtés, ami annak tárgyalásából áll, hogy mit értünk csodán, tölti be a fejezet hátralevő részét. Bizonyos értelemben ez a korábbi, milliárdnyi bolygóval kapcsolatos érvünk kiterjesztése.

Mit értünk hát csodán? A csoda olyasmi, ami megtörténik, de ami rendkívül meglepő. Ha Szűz Mária márványszobra hirtelen felénk int a kezével, akkor azt csodának tekintjük, mivel minden tapasztalatunk és tudásunk azt mondja, hogy a márvány nem viselkedik így. Éppen kimondtam e szavakat: „Lehet, hogy e percben belém csap a villám”. Ha a villám csakugyan belém csapna ebben a percben, akkor ezt csodának tartanánk. A valóságban azonban e két eset egyikét sem osztályozná a tudomány a végletesen lehetet-

len események közé. Egyszerűen nagyon valószínűtlennek ítélné, az integető szobrot sokkal valószínűtlenebbnek, mint a villámcsapást. A villám csakugyan agyoncsap embereket. A ménkü bármelyikünkbe beleüthet, de ennek valószínűsége minden percben meglehetősen csekély (noha a *Guinness Rekordok Könyvében* van egy kép egy virginiai férfiről, akit villámhárító embernek csúfolnak: éppen egy kórházban lábadozik hetedik villámcsapásából, arcán a félénk zavar kifejezésével). Hipotetikus történetemben az egyedüli csodálatos dolog az *egybeesés* a villámcsapás és ennek a szerencsétlenségnek a szóbeli megidézése között.

Az egybeesés többszörös valószínűtlenséget jelent. Konzervatív becslés szerint annak valószínűsége, hogy életem bármelyik percében belém csap a villám, talán egy a tízmillióhoz. Annak is nagyon kicsi a valószínűsége, hogy szóban villámcsapást idézek magamra bármely percben. Eddigi életem 390 000 percében csupán egyszer tettem ilyet, és kétlem, hogy megismételném, tehát ennek esélye legyen egy a félmillióhoz. Az egybeesés együttes valószínűségének a kiszámításához meg kell szoroznunk a két különálló valószínűséget. Durva számításom szerint ez körülbelül egy az ötrillióhoz. Ha ilyen nagyságrendű véletlen esne meg velem, akkor csodának nevezném, és a jövőben vigyáznék a nyelvemre. Ám jöllehet az egybeesés esélye rendkívül kicsi, még mindig kiszámítható. Nem szó szerint zéró.

A márványszobor esetében a szilárd márvány molekulái állandóan egymásnak ütköznek véletlenszerű irányokból. A különböző molekulák lökdösdései egymást közömbösítik, s így a szobor keze nyugalomban marad. Ám, ha merő véletlen folytán az összes molekula ugyanabba az irányba mozdulna el, akkor a kéz megmozdulna. Ha azután ugyanebben a pillanatban mindannyian megfordítják irányukat, akkor a kéz visszatérne előző helyzetébe. Ily módon *lehetséges*, hogy egy márványszobor integessen nekünk. Az ilyen egybeesés esélyei elképzelhetetlenül kicsik, de nem kiszámíthatatlanul. Egy fizikus kolléga volt szíves és kiszámította nekem. A nevezőben levő szám akkora, hogy a világegyetem egész eddigi kora nem elegendő az összes nulla leírásához! Körülbelül ugyanekkora valószínűtlenséggel elméletileg az is lehetséges, hogy egy tehén átugorja a holdat. Az okfejtésnek ebből a részéből az a következtetés adódik, hogy *számításokkal* behatolhatunk sokkal nagyobb csodás valószínűtlenségek területére, mint amilyeneket ésszerűnek *el tudunk képzelni*.

Nézzük most meg azt, hogy mi az, amit plauzibilisnek gondolunk. Amit lehetségesként el tudunk képzelni, az egy keskeny sáv annak a sokkal szélesebb színeknek a közepén, ami ténylegesen lehetséges. Néha keskenyebb, mint ami valójában ott van. Van erre egy jó analógia a fénnel. Szemünk felépítése olyan, hogy megbirkózik az elektromágneses rezgések egy szűk sávjával (amit fénynek nevezünk) valahol a színek közepén, amelynek az egyik végén hosszú rádióhullámok vannak, a másik végén a rövid röntgensugarak. Ezen a szűk fénysávon kívül nem látunk sugarakat, de számításokat tudunk végezni róluk, és eszközöket tudunk építeni az

észlelésükre. Ugyanígy ismerünk olyan méretet és időt, amely mindkét irányban messze kívül esik a vizualizálhatóság birodalmán. Elménk nem képes megbirkózni azokkal a nagy távolságokkal, amelyekkel a csillagászat dolgozik vagy azokkal a kis távolságokkal, amelyekkel az atomfizika dolgozik, de képesek vagyunk reprezentálni ezeket a távolságokat matematikai szimbólumokkal. Elménk nem képes elképzelni olyan rövid időtartamot, mint egy pikoszekundum, de képesek vagyunk számításokat végezni a pikoszekundumokkal, és tudunk olyan számítógépeket építeni, amelyek számításokat tudnak végezni pikoszekundumokon belül. Elménk nem képes elképzelni olyan hosszú időt mint egymillió év, nem is beszélve ezermillió évről, amivel a geológusok rutinszerűen számolnak.

Épp így szemünk az elektromágneses rezgéseknek csak azt a szűk sávját látja, amelyre a természetes kiválasztódás őseinket berendezéssel látta el, ugyanígy agyunk is arra készült, hogy a méretek és időtartamok szűk sávjával megbirkózzon. Feltehetőleg őseinknek nem volt szükségük arra, hogy a mindennapi gyakorlat szűk tartományán kívüli méretekkel és időtartamokkal küszködjenek, ezért agyunk sohasem fejlesztette ki ezek elképzelésének képességét. Valószínűleg van annak jelentősége, hogy saját testünk a maga százegynéhány centis méretével durván a közepén helyezkedik el az általunk elképzelhető méretek tartományának. Néhány évtizednyi élettartamunk pedig durván középpütt helyezkedik el az általunk elképzelhető időtartamok tartományában.

Nagyjából ugyanezt mondhatjuk a valószínűtlenségekről és a csodákról. Képzeljük el a valószínűtlenségek lépcsőzetes skáláját, amely analóg az atomoktól a galaxisokig terjedő méretek skálájával vagy a pikoszekundumoktól az eonokig terjedő időtartamok skálájával. A skálán megjelölhetünk különböző mérföldköveket. A skála bal szélén olyan események lesznek, amelyek majdhogynem bizonyosak, mint például annak valószínűsége, hogy a Nap fölkel holnap (G. H. Hardy félpennys fogadásának tárgya). A skálának ehhez a bal széléhez közel olyan dolgokat találunk, amelyek csak egy kicsit valószínűtlenek, mint például, hogy két dobókockával egyszerre két hatost dobunk. Ennek esélye egy a harminchathoz. Gondolom mindannyian elég gyakran megtettük már. Ahogy haladunk a spektrum jobb oldali vége felé, akkor egy másik határjelző pont a bridzsben a tökéletes leosztás valószínűsége, amikor mind a négy játékos minden kártyaszínből teljes sort kap. Annak az esélye, hogy ez bekövetkezzen 1 a 2 236 197 406 895 366 368 301 559 999-hez. Nevezzük ezt egy leosztásnak, a valószínűtlenség egységének. Ha egy leosztásnyi valószínűtlenségi dolgot megjósolnak, azután megtörténik, akkor csodát állapíthatunk meg, hacsak – ami valószínűbb – nem gyanakszunk csalásra. De *megtörténhetne* becsületes osztással is, és sokkal, sokkal, sokkal valószínűbb, mint az, hogy a márványszobor integet nekünk. De azért még ez az utóbbi esemény is, mint láttuk, elfoglalhatja jogos helyét azoknak az eseményeknek a színképében, amelyek megtörténhetnek. Mérhető, noha csak gígaleosztásoknál sokkal

nagyobb egységekben. A két hatos dobása és a bridzsben a tökéletes leosztás között a többé-kevésbé valószínűtlen események sora található, amelyek néha megtörténnek, egyebek között az, hogy valakit villámcsapás ér, sokat nyer a totón, a pálya túlsó végéből csont nélkül talál a kosárlabdahálóba stb. Valahol ebben a tartományban vannak azok az egybeesések is, amelyek hátborzongató érzéssel töltenek el bennünket, mint amikor évtizedek óta először álmodunk valakivel, azután felébredve megtudjuk, hogy aznap éjjel meghalt. Ezek az egybeesések nagyon imponálóak, amikor velünk vagy valamelyik barátunkkal történnek, valószínűtlenségük azonban csak pikalesztásokban mérhető.

Miután felállítottuk a valószínűtlenségek matematikai skáláját és kijelöltük rajta a mérföldköveket, fordítsuk most figyelmünket a skálának arra az altartományára, amellyel hétköznapi gondolkodásunkban és beszélgetéseinkben meg tudunk birkózni. A reflektorfény csóvájának szélessége analóg az elektromágneses rezgéseknek azzal a szűk tartományával, amit szemünk lát vagy a méreteknél és időtartamoknak azzal a szűk tartományával, amelyek közel vannak saját méretünkhöz és élettartamunkhoz, s amelyeket el tudunk képzelni. A valószínűtlenségek színképén a reflektor csupán a bal oldali végtől (bizonyosság) a kisebb csodáig – mint a telitalálat vagy egy álom valóra válása – terjedő szűk tartományt világítja meg. A matematikailag kiszámítható valószínűtlenségek hatalmas köre esik jóval kívül a reflektor fénysugarán. Agyunkat úgy építette meg a természetes kiválasztódás, hogy felmérje a valószínűséget és a kockázatot épp úgy, ahogy szemünk az elektromágneses hullámhossz megbecsülésére épít. Képesek vagyunk a kockázat és az esélyek mentális kiszámítására a valószínűtlenségek azon tartományán belül, ami hasznos az emberi élet számára. Ez az olyan nagyságrendű kockázatokat jelenti, mint mondjuk, hogy szarvára tűz egy bölény, ha nyilat repíték belé, belém csap a villám, ha viharban magános fa alatt keresek menedéket vagy belefulladok a vízbe, ha megpróbálok átúszni egy folyót. Ezek az elfogadható kockázatok arányban állnak néhány évtizedes életünkkel. Ha biológiailag alkalmasak volnánk rá, hogy egymillió évig éljünk, és akarnánk is addig élni, akkor egészen másként becsülnénk meg a kockázatokat. Például szokásunkká válna, hogy nem megyünk át az úton, mert ha félmillió évig mindennap átmegyünk az úton, akkor kétségkívül elütnek.

Az evolúció a kockázat és a valószínűtlenség olyan szubjektív tudatával látta el agyunkat, amely alkalmas az egy évszázadnál rövidebb élettartamú teremtmények számára. Őseinknek mindig szükségük volt kockázatok és valószínűségeket magukba foglaló döntésekre, ezért a természetes kiválasztódás agyunkat olyan valószínűségek felbecsülésére szerszámozta fel, amelyek annak a rövid életnek a hátterén megítélhetők, amire mindenképpen számíthatunk. Ha valamilyen bolygón olyan élőlények élnének, amelyeknek élettartama egymillió évszázad, akkor a felfogható kockázat reflektorfénye náluk jócskán eltolódna a kontinuum jobb oldali vége felé. A bridzsben

időről időre tökéletes leosztásra számítanának, és aligha csinálnának belőle nagy ügyet, amikor bekövetkezne. De még ők is meghökkennének, ha egy márványszobor intene nekik, mert ehhez nagyon sokkal tovább kellene élni még náluk is, hogy ilyen nagyságrendű csodát lássunk.

Mi köze mindennek az élet eredetéhez? Nos, ezt az okfejtést azzal kezdtük, hogy egyetértettünk: Cairns-Smith elmélete és az ősseves elmélet is egy kicsit valószínűtlennek tűnik számunkra. Ez okból természetes hajlamot érzünk ezeknek az elméleteknek az elvetésére. De jusson eszünkbe, mi olyan lények vagyunk, akiknek agya a felfogható kockázat ceruzavonalnál is vékonyabb fénycsójával van ellátva, ami a kiszámítható kockázatok matematikai kontinuumának a bal szélét világítja csupán be. Szubjektív ítéletünk arról, hogy mi látszik jó fogadásnak, lényegtelen abból a szempontból, hogy ténylegesen mi a jó fogadás. Egymillió évszázados élettartamú földön kívüli lény szubjektív ítélete egészen más lehet. Teljesen ésszerűnek ítéltet egy olyan eseményt, amilyen például az első másolódó molekula eredete néhány kémikus elmélete szerint, amit mi, akiket úgy alkotott meg az evolúció, hogy néhány évtizednyi időtartamú világban mozogjunk, lélegzetelállító csodának ítélnénk. Egyszerű a válasz e kérdésre. A hosszú életű, földön kívüli lény nézőpontja a helyes arra a célra, hogy egy olyan elmélet elfogadhatóságát vizsgáljuk, mint Cairns-Smith-é vagy az őssevesé. Ennek az az oka, hogy mindkét elmélet azt tételezi föl egy konkrét eseményről – egy saját magát másoló entitás spontán kialakulásáról –, hogy az körülbelül egymilliárd évben csak egyszer fordul elő, azaz eononként egyszer. Körülbelül másfél eonnyi idő telt el a Föld keletkezése és az első baktériumra emlékeztető ősseves létrejötte között. Az évtizedekre beállított agyunk számára ez olyan esemény, amely egy eonban csak egyszer fordul elő, olyan ritka, hogy nagy csodának látszik. A hosszú életű földön kívüli lény számára ez kevésbé tűnne csodának, mint nekünk egy telitalálat, és valószínűleg legtöbbször ismerünk valakit, aki ismer valakit, aki elérte a telitalálatot. Az élet eredetére vonatkozó elméletek megítélésében a hosszú életű földön kívüli lény szubjektív időléptéke a releváns, mivel megközelítőleg ezen időskála jutott szerephez az élet eredetében. Az élet eredetére vonatkozó elmélet plauzibilitásáról alkotott saját szubjektív ítéletünk valószínűleg százmilliószorosan helytelen.

Szubjektív ítéletünk valószínűleg még nagyobb mértékben téves. Nem is csupán arról van szó, hogy agyunkat a természet rövid idejű dolgok kockázatának felmérésére alkotta meg; olyan dolgok kockázatának megbecsülésére készült, amelyek velünk személy szerint vagy az általunk ismert emberek szűk körében történnek. Ennek az az oka, hogy agyunk nem a tömegtájékoztató eszközök uralma alatt fejlődött ki. A tömegtájékoztató számunkra azt jelenti, hogy ha valami valószínűtlen dolog történik bárkivel bárhol a világban, akkor olvasunk róla az újságokban vagy a Guinness Rekordok Könyvében. Ha egy szónok, bárhol a világon nyilvánosan kijelenti, hogy csapjon belé a ménkü, ha hazudik, és azonnal belé is üt, akkor

biztos, hogy olvasunk róla, és kellő hatással is van ránk. No de több milliárd ember él a világban, akikkel egy ilyen véletlen egybeesés *megtörténhetne*, így a látszólagos véletlen nem is olyan nagy, mint amilyennek látszik. Agyunkat a természet valószínűleg olyan kockázatok felbecsülésének képességével látta el, amelyek velünk történnek vagy néhány száz emberrel a dobszó távolságon belüli falvak kicsiny körében, akikről törzsi társadalomban élő ősünk híreket várhattak. Amikor az újságban arról olvasunk, hogy valami meghökkentő véletlen történt valakivel Valparaisóban vagy Virginiában, akkor az nagyobb hatással van ránk, mint kellene. Talán százmilliószor nagyobb hatással, ha ez az arány aközött a népesség között, amit újságjaink figyelemmel kísérnek és a törzsi népesség között, amelyről az evolúció során kialakult agyunk híreket „vár”.

Ez a „népességszámítás” az élet eredetére vonatkozó elméletek plauzibilitásának megítélésében is fontos. Nem a Földön élő emberek népessége miatt, hanem a világegyetemben levő bolygók népessége miatt, ahol élet *keletkezhetett*. Ez pontosan az az érv, amellyel ebben a fejezetben már találkozottunk, így nincs szükség rá, hogy itt tovább időzzünk. Térjünk vissza a valószínűtlen események lépcsőzetes skálájának képzeleti képére, ahol tájékozódási pontokul a bridzsleosztások és a kockadobások szolgáltak. A leosztások és mikroleosztások e lépcsőzetes skáláján jelöljük be a következő három új pontot. Annak valószínűségét, hogy élet keletkezzék egy bolygón (mondjuk egymilliárd éven belül), ha feltételezzük, hogy az élet körülbelül naprendszerenként egyszer keletkezik. Annak valószínűségét, hogy élet keletkezzék egy bolygón, ha az élet körülbelül galaxisonként egyszer keletkezik. Annak valószínűségét, hogy élet keletkezzék egy véletlenszerűen kiválasztott bolygón, ha élet csupán egyszer keletkezik a világegyetemben. Nevezzük el ezeket a pontokat naprendszerszámnak, galaxisszámnak és Univerzumszámnak. Emlékeztetésül: körülbelül 10 000 millió galaxis van. Nem tudjuk, hány naprendszer van egy galaxisban, mert csak a csillagokat látjuk, a bolygókat nem, de korábban azzal a becsléssel éltünk, hogy 100 milliárd-milliárd bolygó lehet az Univerzumban.

Amikor például a Cairns-Smith-féle elmélet által posztulált esemény valószínűtlenségét becsüljük meg, akkor nem abból kell kiindulnunk, hogy mit gondolunk szubjektíve valószínűnek vagy valószínűtlennek, hanem olyan számokból, mint ez a három – a naprendszerszám, a galaxisszám és az Univerzumszám. Hogy a három szám közül melyik a legmegfelelőbb, az attól függ, hogy a következő három állítás közül melyiket gondoljuk az igazsághoz legközelebb állónak.

1. Az élet csak egyetlen bolygón keletkezett az egész világegyetemben (s ez a bolygó, mint korábban láttuk, a Föld kellett, hogy legyen).

2. Élet körülbelül galaxisonként egy bolygón jött létre (a mi galaxisunkban a Föld ez a szerencsés bolygó).

3. Az élet keletkezése eléggé valószínű esemény, és többnyire naprendsze-

renként egyszer fordul elő (a mi naprendszerünkben a Föld a szerencsés bolygó).

Ez a három állítás három kiemelkedő nézetet képvisel az élet egyediségéről. Az élet tényleges egyedisége valószínűleg valahol az első állítás és a harmadik állítás által képviselt végletek között húzódik. Miért mondom ezt? Konkrétan: miért zárjuk ki azt a negyedik lehetőséget, hogy az élet eredete sokkal valószínűbb esemény, mint amit a harmadik állítás sugalmaz? Az ezzel szembeni érv nem valami erős; így hangzik. Ha az élet eredete sokkal valószínűbb esemény volna, mint amit a naprendszerszám mutat, akkor arra kellene számítanunk, hogy mára már találkozotunk volna a földön kívüli léttel, ha nem is hús-vér formában (bármi legyen is az), de legalábbis rádióan.

Gyakran rámutatnak, hogy a vegyészeknek az a kísérlete, hogy megismélték az élet spontán kialakulását a laboratóriumban, kudarcra jutott. Ezt a tényt úgy használják fel, mintha bizonyítékul szolgálhatna azokkal az elméletekkel szemben, amelyeket ezek a kémikusok ellenőrizni próbálnak. Ám valójában azt is mondhatnánk, hogy aggódnunk kellene, ha kiderülne, hogy nagyon könnyű a kémcsőben spontán módon életet előállítani. Ennek az az oka, hogy a vegyészek kísérletei csupán évekig és nem évszázmilliókig tartanak, valamint az, hogy csak maroknyi vegyész végzi ezeket a kísérleteket és nem ezermilliónyi vegyész. Ha kiderülne, hogy az élet spontán eredete annyira valószínű esemény, hogy bekövetkezett az alatt a néhány emberévtized alatt, amely alatt a vegyészek a kísérleteiket végezték, akkor az életnek már többször ki kellett volna alakulnia a Földön, és sokszor a Földhöz a rádió hatósugarán belül levő bolygókon. Persze ez tényként kezeli azokat a fontos kérdéseket, hogy vajon a vegyészeknek sikerült-e megisméltetniük a Föld korai szakaszának feltételeit, de még ha így is van, és feltételezzük, hogy nem tudunk válaszolni ezekre a kérdésekre, ezt a gondolatmenetet akkor is érdemes végigvinni.

Ha az élet keletkezése közönséges emberi léptékkel is valószínű esemény volna, akkor a rádió hatósugarán belüli bolygókon már jelentős számban fejlesztettek volna ki rádiótechnológiát, elég régen ahhoz (szem előtt tartva, hogy a rádióhullámok másodpercenként 300 000 kilométeres sebességgel terjednek), hogy felfoghassuk legalább egy ízben az elmúlt évtizedek során, amióta megvannak hozzá a berendezéseink. Valószínűleg körülbelül ötven csillag van a rádió hatósugarán belül, ha feltételezzük, hogy csak azóta van rádiótechnológiájuk, mint nekünk. Ám ötven év csupán múlt pillanat, és jelentős véletlen volna, ha egy másik civilizáció ilyen szorosan tartaná a lépést velünk. Ha azokat a civilizációkat is belevonjuk számításunkba, amelyeknek már ezer évvel ezelőtt volt rádiótechnológiájuk, akkor mintegy egymillió csillag van a rádió hatósugarán belül (együtt mindazokkal a bolygókkal, amelyek körülöttük keringenek). Ha azokat is belevesszük, amelyeknek rádiótechnológiája százezer évre nyúlik vissza, akkor az egész trilliócsillagos galaxis a rádió hatósugarán belül volna. Természetesen a

sugárzott jelek jelentős mértékben meggyengülnének ilyen nagy távolság megtétele után.

Így a következő paradoxonhoz jutottunk el. Ha az élet eredetének valamely elmélete kellőképpen „kézenfekvő” ahhoz, hogy kielégítse a plauzibilitásról alkotott szubjektív ítéletünket, akkor *túlságosan* kézenfekvő ahhoz, hogy magyarázattal szolgáljon a világegyetem megfigyelésünk szerinti életben szegény voltára. Ezen okfejtés szerint az általunk keresett elméletnek olyan típusúnak *kell* lennie, amely valószínűtlennek látszik a mi korlátozott, földhöz kötött, évtizedekhez kötött képzeletünk számára. Ennek fényénél mind Cairns-Smith elmélete, mind pedig az őseles elmélet bármivel vádolható, csak azzal nem, hogy a *túlságos* plauzibilitás hibájába esik! Miután mindezt elmondtam, be kell vallanom, hogy mivel a számításokban oly sok bizonytalanság van, igazából nem esnék kétségbe, ha egy kémikusnak *mégiscsak* sikerülne spontán életet létrehozni!

Még mindig nem tudjuk, pontosan miként kezdődött a természetes kiválasztódás a Földön. Ez a fejezet szerény célja szerint csupán azt a *fajta* módot próbálta megmagyarázni, ahogyan történnie kellett. Semmiképpen sem szabad az egész darwini világnézet buktatójaként felfogni azt a tényt, hogy ma hiányzik az élet eredetének határozottan elfogadott magyarázata, ahogyan ezt néha valószínűleg a vágyak vezérelte gondolkodás hatására teszik. A korábbi fejezetek más állítólagos buktatókat mutattak be, a következő pedig még egy továbbival szolgál, azzal az elgondolással, hogy a természetes szelekció csak rombolni tud, építeni soha.

7. FEJEZET

Az alkotó evolúció

Sokan azt hiszik, hogy a természetes szelekció pusztán negatív erő, amely képes kigyomlálni a torz formákat és kudarcokat, de nem képes létrehozni a szerkezet komplexitását, szépségét és hatékonyságát. Hiszen csupán elvesz abból, ami már megvan, és egy valóban alkotó folyamatnak adni is kellene valamit! Erre részben azzal válaszolhatunk, ha rámutatunk egy szoborra. Semmit sem adtak hozzá a márványtömbhöz. A szobrász csupán elvesz, mégis szép szobor kerül ki a keze alól. Ez a hasonlat azonban félrevezethet, mert némelyek esetleg nyomban a metafora rossz részét ragadják meg, azt a tényt, hogy a szobrász tudatos tervező, és elmennek a fontos rész mellett: a mellett a tény mellett, hogy a szobrász elvesz és nem hozzáad. De még a hasonlatnak ezt a részét sem szabad túlságosan messzire vinnünk. Lehet, hogy a természetes szelekció csupán elvesz, ám a mutáció hozzá is adhat. Mód van arra, hogy a mutáció és a természetes szelekció együttesen a földtörténeti idő hosszú szakaszain keresztül olyan komplexitást építsen föl, amely több közösséget mutat a hozzáadással mint az elvétellel. Ennek az építőmunkának két fő módja van. Ezek közül az elsőt „hozáigazított genotípusoknak”, a másodikat „fegyverkezési versenynek” nevezzük. E két felszínesen meglehetősen különbözik egymástól, egyesíthetők azonban a „koevolúció” és a „gén mint egymás környezete” címszavak alatt.

Szóljunk először a hozzáigazított genotípusokról. Egy gén a maga konkrét hatását *csak* azért éri el, mert már meglevő szerkezetre fejt ki. Egy gén nem befolyásolhatja az agy kapcsolásait, ha nincs már eleve egy agy, amelynek kapcsolatai alakulnak. Nem volna már eleve agy, amelynek kapcsolatai alakulóban vannak, ha nem volna egy teljes fejlődő embrió. És nem volna teljes fejlődésben levő embrió, ha nem volna a kémiai és a sejtseemények teljes programja, sok-sok más gén hatása alatt és sok-sok más nem genetikai, kauzális hatás alatt. A gének konkrét hatásai nem ezeknek a géneknek benső tulajdonságai. Ezek az embriológiai folyamatok tulajdonságai, olyan *létező* folyamatokéi, amelyeknek részleteit *megváltoztathatják* a gének azáltal, hogy az embriófejlődés során adott helyen és adott időben működésbe lépnek. Ezen üzenet elemi formájának demonstrációjával találkoztunk a számítógépes biomorfok kialakulásakor.

Bizonyos értelemben az embrionális fejlődés egész folyamata tekinthető kooperatív vállalkozásnak, amelyet gének ezrei együttesen visznek. Az emb-

riókat a fejlődő szervezetben működő összes gén rakja össze egymással együttműködve. És most lássuk a kulcsot annak megértéséhez, hogy miként jön létre ez az együttműködés. A természetes kiválasztódásban a gének mindig azon képességük szerint választódnak ki, hogy mennyire tudnak érvényesülni abban a környezetben, amiben találják magukat. Ezt a környezetet gyakran a külvilágként képzeljük el, a ragadozók és az éghajlat világaként. Am a legtöbb gén számára talán a legfontosabb része a környezetnek a *többi gén, amelyekkel találkozik*. És hol „találkozik” a gén más génekkel? Legnagyobbbrészt azoknak az egymást követő, egyedi testeknek a sejtjeiben, amelyekben megtalálható. Az egyes gének azon képességük alapján választódnak ki, hogy milyen sikerrel működnek együtt azoknak a többi géneknek a populációjával, amelyekkel a testekben valószínűleg találkoznak.

A gének valódi népeisége, amely egy adott gén munkakörnyezetét alkotja, nem egyszerűen az az átmeneti együttes, amely történetesen egy konkrét egyedi test sejtjeiben összekerült. Legalábbis az ivaros szaporodó fajok esetében ez az egymással párosodó egyedek populációjában az összes gén halmazát jelenti: a génkészletet. Egy gén valamely konkrét másolatának (az atomok konkrét együttesének értelmében) bármely pillanatban egy egyed egyetlen sejtjében kell elhelyezkednie. Ám egy gén valamely másolatának atomjai nem tarthatnak igényt tartós érdeklődésünkre. Várható élettartamát mindössze hónapokban mérjük. Mint már láttuk, a hosszú életű gén, mint evolúciós egység, nem valamely konkrét fizikai szerkezet, hanem a nemzedékek folyamán újra és újra átmásolt, szövegszerű levéltári *információ*. Ez a szövegszerű replikátor szétszórt formában létezik. Szét van szórva a térben a különböző egyedek között, és szét van szórva időben sok-sok nemzedéken át. Ebből a szétszórtságból kiindulva egy génről akkor mondhatjuk, hogy találkozik egy másikkal, amikor ugyanazon a testen osztoznak. Valószínű, hogy sok más génnel találkozik különböző testekben, szétszórt létének más-más idejében, miközben bejárja a földtörténeti időt. Az lesz a sikeres gén, amely jól boldogul ezen más gének által teremtetett környezetben, azon génekében, amelyekkel valószínűleg más-más testekben találkozik össze. A „boldogulás” az ilyen környezetekben egyenértékűnek bizonyul a más génekkel való együttműködéssel. Ezt a legközvetlenebbül a biokémiai utak esetében szemlélhetjük.

A biokémiai utakat vegyületek olyan sora alkotja, amelyek valamilyen hasznos folyamat, például energiafelszabadítás vagy egy fontos anyag szintézise egymást követő fázisait alkotják. Az úton minden lépéshez egy enzim szükséges, azon nagymolekulák egyike, amelyek egy vegyi gyár gépéhez hasonló működésre formálódnak. A biokémiai út különböző lépéseihez különböző enzimek szükségesek. Néha két vagy több kémiai út vezet ugyanazon hasznos célhoz. Noha mindegyik út azonos hasznos eredményben ér véget, más-más közbülső állapotaik vannak és rendszerint eltérő a kiindulási pontjuk is. A két alternatív út közül bármelyik megteszi, és nem számít, hogy melyiket alkalmazzuk. Bármely konkrét állat számára az a fontos.

hogy kerülje mindkét út egyidejű bejárását, mert annak kémiai zavar és alacsony hatékonyság volna a következménye.

Tegyük fel, hogy az első útnak egymás után az A1, B1 és C1 enzimekre van szüksége, hogy a kívánt D vegyületet szintetizálja, a második útnak pedig az A2, B2 és C2 enzimekre van szüksége, hogy ugyanahhoz a kívántos végtermékhez jusson. Mindegyik enzimet egy adott gén állít elő. Egy fajnak ahhoz, hogy a második út számára az alternatív szerelőszalagot kifejlessze, arra van szüksége, hogy az A2-t, a B2-t és a C2-t kódoló gének együtt fejlődjenek ki egymással. E két koevolúció közti választás nem tervezéssel jön létre. Egyszerűen úgy alakul ki, hogy mindegyik gén azokkal a génekkel való összeillése miatt szelektálódik, amelyek *már éppen uralkodnak a népességben*. Ha úgy adódik, hogy a népesség már gazdag a B1 és a C1 génjeiben, akkor inkább az A1 génnek és nem az A2 génnek kedvező klímát teremt. Vagy fordítva, ha a népesség már B2-es és C2-es génekben gazdag, akkor olyan klíma alakul ki, amelyben a szelekció az A2-es gént részesíti előnyben az A1-es génnel szemben.

A dolog nem ennyire egyszerű, de érzékelteti: annak a „klímának”, amely az egyik génnek kedvez, a másiknak nem kedvez, egyik legfontosabb aspektusa a többi gén, amelyek a népességben már nagy számban fordulnak elő; tehát azok a gének, amelyekkel valószínűleg közös testben fogja kifejteni működését. Mivel nyilvánvalóan ugyanez áll a többi génre is, olyan géncsapatokat látunk, amelyek a problémák kooperatív megoldásai felé fejlődnek. Maguk a gének nem fejlődnek, pusztán csak megmaradnak vagy nem maradnak meg a génkészletben. A csapat fejlődik. Más csapatok esetleg ugyanolyan jól vagy akár jobban is elvégezték volna a feladatot. Ám amint az egyik csapat uralkodni kezd egy faj génkészletében, ezáltal automatikusan előnyhöz jut. Egy kisebbségben levő csapat nehezen tud betörni, még ha végül is hatékonyabban végezné el a munkát. A többségi csapat automatikusan ellenáll annak, hogy elmozdítsák, egyszerűen annak tulajdoníthatóan, hogy ő a többség. Ez nem azt jelenti, hogy a többségi csapatot soha nem lehet elmozdítani. Ha nem lehetne, akkor az evolúció előbb-utóbb leállna. Azt azonban jelenti, hogy létezik valamiféle beépített tehetetlenség.

Nyilvánvaló, hogy ez a gondolatmenet nem korlátozódik a biokémiára. Ugyanígy érvelhetnénk amellet, hogy összeillő gének nyalábjai építik föl a szemek, a fülek, az orrok, a végtagok különböző részeit, az állat testének összes együttműködő részét. Azok a gének, amelyek a hús rágására alkalmas fogak kialakulását idézik elő, kedvező klímára lelnek a hús megemésztésére alkalmas belek kialakulását okozó gének által dominált környezetben. Vagy fordítva: a növényörölő fogazatot előidéző gének előnyt élveznek az olyan klímában, amelyben a növények emésztésére alkalmas beleket létrehozó gének uralkodnak. A „húsevő” gének csapatai is és a „növényevő” gének csapatai is hajlamosak együtt fejlődni. Csakugyan, bizonyos értelemben egy test legtöbb működő génjéről elmondhatjuk, hogy csapatként együttműködnek egymással, mivel az evolúció ideje során mindegyikük

(azaz saját maguk felmenő másolatai) része volt annak a környezetnek, amelyben a természetes kiválasztódás a többiekre hatott. Ha azt kérdezzük, az oroszlánok ősei miért választották a húsevést, az antilopok ősei pedig a fűevést, a válasz az lehetne, hogy eredetileg ez véletlen volt. Véletlen abban az értelemben, hogy választhatták volna az oroszlánok ősei a fűevést és az antilopok ősei a húsevést. Amint azonban egy leszármazási vonalon *megkezdődött* egy olyan gécscsapat felépítése, amely a húsról specializálódik és nem a fűre, attól fogva a folyamat önmegerősítő. És attól kezdve, hogy a másik leszármazási vonal megkezdte egy olyan gécscsapat felépítését, amely a fűre és nem a húsról specializálódik, attól kezdve ez a folyamat lesz önmegerősítő a másik irányban.

Az élő szervezetek korai evolúciójában az egyik fő esemény bizonyára az volt, hogy megnövekedett az ilyen együttműködésekben részt vevő gének száma. A baktériumoknak sokkal kevesebb génjük van, mint az állatoknak és a növényeknek. Ez a növekedés talán különféle génmegkettőzésekkel jött létre. Ne felejtjük el, hogy a gén egyszerűen egy sor kódolt szimbólum, mint egy adatblokk (file) egy számítógépes lemezen; s a gének átmásolhatók a kromoszómák különböző részeibe ugyanúgy, ahogy az adatblokkok is átmásolhatók a lemez különböző részeire. Azon a lemezen, amin ez a fejezet van, hivatalosan pontosan három adatblokk van. A „hivatalosan” kifejezésen azt értem, hogy a számítógép operációs rendszere közli velem, hogy az adatblokkok száma pontosan három. Kérhetem, hogy olvassa be nekem e három adatblokk egyikét, mire elém tárja az ábécé-karakterek egydimenziós sorát, köztük azokat a karaktereket is, amelyeket most ön olvas. Minden nagyon takaros és rendezett, legalábbis úgy tűnik. Ám a valóságban magán a lemezen a szöveg elrendezése minden, csak nem takaros és rendezett. Megláthatjuk, ha kibújunk a számítógép saját hivatalos operációs rendszerének fegyelmé alól, és saját programot írunk annak kiderítésére, hogy mi van ténylegesen a lemez szektoraiba írva. Kiderül, hogy mindhárom adatblokkom töredékei szanaszét vannak szórva, elkeveredve egymással és régi, nem élő adatblokkok töredékeivel, amelyeket már réges-rég kitöröltem és elfelejtettem. Bármely adott töredék felbukkanhat szóról szóra azonosan vagy kis különbségekkel mindenütt a lemezen, féltucat különböző helyen.

Ennek oka érdekes, és megéri a kitérőt, mert jó genetikai analógiával szolgál. Amikor azt mondjuk a számítógépnek, hogy töröljön egy adatblokkot, akkor látszólag engedelmeskedik. Am nem törli ki ténylegesen az illető adatblokk szövegét. Egyszerűen csak az illető blokk összes *mutatóját* törli ki. Ez olyan, mintha az a könyvtáros, akit a *Lady Chatterley szeretője* eltüntetésére utasítottak, egyszerűen összetépi a katalógusban a kártyát, és magát a könyvet a polcon hagyja. A számítógép számára ez tökéletesen gazdaságos módszer, mivel a korábban „törölt” blokk által elfoglalt hely automatikusan felszabadul új blokkok számára, amint a régi adatblokk mutatóit eltávolítottuk. Időpocsékolás volna ténylegesen azzal vesződni,

hogy magát a helyet szóközökkel kitöltsük. A régi blokk maga nem vész el mindaddig, amíg helyét föl nem használták új adatblokk tárolására.

Ám a térnek ez az újrafelhasználása darabonként történik. Az új blokkok nem pontosan azonos méretűek a régiekkel. Amikor a számítógép megpróbál egy új blokkot lemezre menteni, akkor először az első üres helytöredéket keresi meg, odaír az új blokkból annyit, amennyi befér, azután újabb töredékhelyet keres, megint egy kicsit beír és így tovább mindaddig, amíg az egész blokkot rá nem írta a lemezre *valahova*. Az embernek csak azért van az az illúziója, hogy az adatblokk egyetlen rendezett sor, mert a számítógép gondoskodik róla, hogy rögzítse a szerteszét szórt összes töredék címeinek mutatóit. Ezek a mutatók olyanok, mint a New York Timesban a „folytatódik a 94. oldalon” mutatók. Annak oka pedig, hogy bármely szövegtöredékből számos másolat található a lemezen az, hogy amennyiben, mint a legtöbb fejezetem esetében, a szöveget több tucatszor újra és újra átírják, akkor minden átíráskor (majdnem) ugyanazt a szöveget újra és újra kimentí a számítógép a lemezre. Ez látszólag ugyanazon blokk kimentését jelenti. Ám mint láttuk, a szöveg a valóságban ismételten szétszóródik a lemez üres „réseibe”. Ennélfogva ugyanazon szövegtöredék több példánya található szerteszét a lemez felszínén, s ez annál inkább így van, mennél régebbi és használtabb a lemez.

A fajok DNS operációs rendszere csakugyan nagyon-nagyon idős, és bizonyíték van rá, hogy hosszú távon olyasmit tesz, mint a számítógép a lemezblokkokkal. A bizonyítékok egy része az intronok és exonok izgalmas jelenségéből származik. Az utóbbi évtizedben felfedezték, hogy egy-egy gén – abban az értelemben, hogy a DNS-szöveg egyetlen folytonosan leolvasott szakasza – nem tárolódik egy helyen. Ha a kromoszóma mentén leolvassuk a kódbetűket (azaz, ha azzal egyenértékű dolgot cselekszünk, mint amikor kitörünk az operációs rendszer uralma alól), akkor exonoknak nevezett „értelmes” töredékeket találunk, amelyeket az intronoknak nevezett „értelmetlen” szakaszok választanak el. Sok funkcionális értelemben vett „gén” föl van darabolva értelmetlen intronokkal megszaggatott töredékek (exonok) sorára. Olyan ez, mintha minden exon „folytatódik a 94. oldalon” mutatóval végződne. A teljes gén egész sor exonból épül föl, amelyek ténylegesen csak akkor kapcsolódnak össze, amikor végül is a „hivatalos” operációs rendszer kiolvassa őket és lefordítja fehérjékké.

További bizonyíték származik abból a tényből, hogy a kromoszómákat helyenként régi genetikai szöveg borítja, amelyeket többé már nem használnak, de amelyeknek még mindig felismerhető értelmük van. A számítógép-programozót ezeknek a genetikai lelettöredékeknek az eloszlási mintázata kísértetiesen emlékezteti egy olyan régi lemez felszínén található szövegmin-tára, amely lemezt sokat használtak szövegszerkesztésre. Vannak állatok, amelyekben a gének viszonylag jelentős részét tulajdonképpen sohasem olvassák ki. Ezek a gének vagy teljesen értelmetlenek, vagy elavult „fossilis gének”.

Nagy néha a szövegöslények újra feltámadnak, ahogy magam is tapasztaltam e könyv írásakor. Számítógéphiya miatt (az is lehetséges, hogy emberi hiba volt) véletlenül „kitöröltem” a harmadik fejezetet tartalmazó lemezt. Maga a szöveg természetesen nem törlődött ki szó szerint. Mindössze az egyes „exonok” elejére és végére mutató *pointerek* törlődtek ki. A „hivatalos” operációs rendszer semmit sem tudott elolvasni, ám „nem hivatalosan” én eljátszhattam a gensebész és megvizsgálhattam az összes szöveget a lemezen. A szövegtöredékek zűrzavaros kirakórejtvényét láttam, némelyikük friss volt, mások ódon „kövületek”. A töredékeket összerakosgatva helyre tudtam állítani a fejezetet. De a legtöbb esetben nem tudtam, hogy melyik töredékek újak és melyikek őseletek. Ez nem számított, mivel apróbb részletektől eltekintve, amelyeket javítani kellett, azonosak voltak. Az őseletek vagy elavult „intronok” közül legalábbis néhány újra visszakapta szerepét. Megmentettek a kellemetlenségtől, és attól a nyúgtól, hogy újra írjam az egész fejezetet.

Bizonyítékunk van arra, hogy élő fajoknál is előfordul, hogy „fosszilis gének” újra működni kezdenek és használatba kerüljenek miután vagy egymillió évig szunnyadtak. Részletezésük túl messzire vinne e fejezet fő csapásától, hiszen ne felejtjük el, már amúgy is kitérőt teszünk. Fő tételünk az volt, hogy egy faj teljes genetikai kapacitása növekedhet génmegkettőződés révén. Ennek egyik módja a meglevő gének régi, „fosszilis” másolatainak újrafelhasználása. Vannak más, közvetlenebb módok is, ahogyan gének a kromoszómák távoli részeire másolhatók úgy, ahogy az adatblokkokat is meg tudjuk ismételni egy lemez különböző részein vagy más lemezeken.

Az embernek nyolcféle különböző globingénnek nevezett génje van (ezeket egyebek között a hemoglobin előállításához használjuk) különböző kromoszómákon. Bizonyosnak látszik, hogy mind a nyolc végső soron egyetlen ősi globingénről másolódott. Körülbelül 1100 millió évvel ezelőtt az ős globingén megkettőződött. Ennek az eseménynek az idejét azért tudjuk megállapítani, mert független adataink vannak arról, hogy a globinok rendszerint ilyen sebességgel fejlődnek (lásd a 5. és a 11. fejezetet). Az ezzel az eredeti megkettőződéssel létrejött két gén közül az egyik a gerincesek hemoglobinjáért felelős összes gén őse lett. A másik a mioglobint előállító összes gén őse lett, ez utóbbi rokon fehérjecsalád, amelynek működési területe az izmokban van. Az ezt követő különböző megkettőződésekéből keletkeztek az alfa-, béta-, gamma-, delta-, epsilon- és zéta-globinok. Az a magával ragadó ebben a dologban, hogy az összes globingén teljes családfáját meg tudjuk rajzolni, sőt dátumokkal is el tudjuk látni az elágazási pontokat (a delta- és a béta-globin például körülbelül 40 millió évvel ezelőtt vált el; az epsilon- és a gamma-globin pedig 100 millió évvel ezelőtt). Mégis a nyolc globingén a távoli ősök messzire ágazásaiból lett leszármazott, ma is jelen van mindegyikünkben. Egy ős kromoszómáinak különböző helyeire kerültek át, és mindegyiket négy különböző kromoszómán örököljük. A molekulák ugyanazon a testen osztoznak távoli unokatestvéreikkel. Bizo-

nyos, hogy nagyon sok ilyen megkettőződésre került sor az összes kromoszómában a földtörténeti korok mindegyikében. Ez fontos szempont, ami-
ben a való élet bonyolultabb, mint a 3. fejezet biomorfjai. Azoknak összesen
csupán kilenc génjük van. Fejlődésük e kilenc gén változásaira szorítkozott,
soha nem került sor a gének számának tízre növelésére. Az ilyen duplikációk
még a valóságos állatokban is elég ritkák ahhoz, hogy ne érvénytelenítsék
azt az általános kijelentésemet, hogy egy faj összes tagjában azonos a DNS
„címezési” rendszere.

A fajon belüli megkettőződés nem az egyetlen eszköz, amelynek segítségével az együttműködő gének száma növekedett az evolúció során. Még
ritkább, de azért talán nagyon fontos lehetőség egy másik faj, akár egy
rendkívül távoli faj génjének átvétele. Vannak például hemoglobinok a
borsócsalád génjeinek gyökereiben. Nem találkozunk velük egyetlen más
növény családban sem, és szinte biztosnak látszik, hogy állatokkal való
fertőződés folytán jutottak a borsócsaládba, esetleg vírusok közvetítésével*.

Lynn Margulis amerikai biológus egyre inkább elfogadott elmélete szerint
különösen fontos esemény történt e vonal mentén az eukariota sejt eredete
kapcsán. Az eukariota sejtek minden sejtet magukba foglalnak, kivéve a
baktériumsejteket. Az élővilágot alapjában véve baktériumokra és a többi
élőlényre osztjuk föl. Mi a többihez tartozunk, és együttesen eukariotáknak
neveznek bennünket. Főképp abban különbözünk a baktériumoktól, hogy
a mi sejteink elkülönülő, kicsiny minisejteket (sejtszervecskéket) tartalmaz-
nak. Közéjük tartozik a sejtmag, amely otthont ad a kromoszómáknak; a
mitokondriumoknak nevezett kicsiny, hengeres testecskek (velük már talál-
koztunk az 1. ábrán), amelyekben bonyolultan összetekeredett hárttyák
találhatók; és a növényi sejtekben a kloroplasztiszok. A mitokondriumok-
nak és a kloroplasztiszoknak saját DNS-ük van, amely a mag kromoszómái-
ban levő fő DNS-től tökéletesen függetlenül másolja és terjeszti saját magát.
A bennünk levő összes mitokondrium abból a kicsiny mitokondriumnépes-
ségből származik, amely az anyánk petesejtjéből került belénk. Az ondósej-
tek túl kicsik ahhoz, hogy mitokondriumokat tartalmazzanak, így azok
kizárólag a női vonalon terjednek, és a hímnemű testek a mitokondriumok
szaporodása szempontjából zsákutcát jelentenek. Mellékesen ez azt jelenti,
hogy a mitokondriumokat felhasználhatjuk őseink visszakeresésére – szígo-
rán az anyai ágon.

Margulisnak az az elmélete, hogy a mitokondriumok és a kloroplaszti-
szok, valamint a sejteken belül még néhány más szerkezet baktériumoktól
származik. Az eukariota sejt körülbelül talán kétmilliárd évvel ezelőtt ala-
kult ki, amikor több, különböző baktérium egyesítette erőit azok miatt az
előnyök miatt, amelyeket egymástól kaphattak. Az eonok során olyan
mértékben integrálódtak együttműködő egységgé, hogy az eukariota sejt
alakult ki belőlük, amelyből már szinte lehetetlen nyomára jutni annak a

* Az újabb adatok ez ellen szólnak. (A lektor)

ténynek, ha ez csakugyan tény, hogy valaha külön-külön baktériumok voltak.

Úgy tűnik, hogy az eukariota sejt feltalálásával egy egész sor új terv kivitelezése vált lehetővé. A mi szempontunkból a legérdekesebb az, hogy a sejtek képesek voltak sokmilliárdnyi sejtből álló, nagy testeket előállítani. Minden sejt osztódással szaporodik, amelynek során mindkét fél megkapja a teljes génkészletet. Amint a tű hegyén elférő baktériumok esetében láttuk, az egymást követő kettéosztódások nagyon rövid idő alatt nagyon sok sejtet eredményeznek. Először van egy sejtünk, és az kettéosztódik. Azután mindkettő osztódik, s így négyet kapunk. A négy osztódásából lesz nyolc. Így haladunk tovább az egymást követő kettőszorozódásokkal 8-tól 16-ig, 32-ig, 64-ig, 128-ig, 256-ig, 512-ig, 1024-ig, 2048-ig, 4096-ig, 8192-ig. Mindössze 20 osztódás után, ami nem tart túlságosan soká, már millióknál járunk. Csupán 40 osztódás után a sejtek száma már több mint egytrillió. A baktériumok esetében az egymást követő megkettőződésekkkel létrejött hatalmas számú sejt mindegyike a maga útját járja. Ugyanez áll sok eukariota sejtrel is, például az olyan egysejtűekre, mint az amőbák. Az evolúció fontos lépése volt, amikor az egymást követő osztódásokkal létrejött sejtek együtt maradtak ahelyett, hogy különváltak volna. Most már magasabb rendű szerkezet is kialakulhatott, éppúgy, ahogy összehasonlíthatatlanul kisebb nagyságrendben a kétféle ágazó számítógépes biomorfokban is történt.

Most első ízben vált lehetővé a nagy testméret kialakulása. Az emberi test a sejtek valóban kolosszális népessége, amelyek mindegyike egyetlen őstől, a megtermékenyített petesejtől származik. S ennél fogva mindegyikük a test más sejtjeinek unokatestvére, gyereke, unokája, nagybátyja stb. A bármelyikünket felépítő 10 trillió sejt sejtosztódások néhány tucat nemzedékének terméke. Ezeket a sejteket körülbelül (részben egyéni megítélés szerint) 210 különféle típusba sorolják, amelyek mindegyikét ugyanaz a génkészlet építi fel, csak éppen a különböző sejtajtókban a génkészlet különböző tagjai lépnek működésbe. Mint láttuk, ez az oka, hogy miért különböznek a májsejtek az agysejtektől, a csontsejtek az izomsejtektől.

A soksejtű testek szerveinek és viselkedésmintáinak közbejöttével működő gének terjedésük biztosításához olyan módszereket alkalmazhatnak, amelyek a saját szakállára dolgozó, egymagában álló sejtnek hozzáférhetetlenek. A soksejtű testek lehetővé teszik a gének számára, hogy a világot manipulálják, és olyan szerszámokat használjanak, amelyek nagyságrendekkel nagyobbak, mint az önmagában álló sejt léptéke. Ezeket a nagy léptékű közvetett manipulációkat a sejtek miniatűr szintjén kifejtett közvetlenebb hatásokon keresztül érik el. Például megváltoztatják a sejtthártya alakját. A sejtek ezek után nagy populációkban lépnek egymással kölcsönhatásba, hogy nagy léptékű csoporthatásokat idézzenek elő, például egy kart, egy lábat vagy (közvetettebben) egy hódgátat. Egy szervezet szabad szemmel látható tulajdonságainak legtöbbször az úgynevezett „keletkező tulajdonságok” közé tartozik. Még a kilencgénű számítógépes biomorfoknak

is voltak keletkező tulajdonságaik. Valóságos állatokban ezek a sejtek közötti kölcsönhatás által előálló egész test szintjén jönnek létre. A szervezet egész egységként működik, és mondhatjuk, hogy génjei az egész szervezetre hatással vannak, noha bármely gén minden egyes másolata közvetlen hatását csupán a saját sejtjén belül fejti ki.

Láttuk, hogy a gén környezetének nagyon fontos részét alkotják azok a többi génnek, amelyekkel valószínűleg találkozik, ahogy nemzedékről nemzedékre a testek követik egymást. Ezek a fajok belül permutált és kombinált gének. Csakugyan, az ivaros szaporodó fajokat olyan eszközökként kezelhetjük el, amelyek kölcsönösen egymáshoz idomult gének diszkrét halmozát permutálják különböző kombinációban. E nézet szerint a fajok folytonosan kevernek génegyütteseket, amelyek a fajok belül találkoznak egymással, de sohasem találkoznak más fajok génjeivel. Egy bizonyos értelemben azonban a különböző fajok génjei, még ha nem is találkoznak egymással úgy, hogy a sejten belül közeli szomszédságba kerülnek, mégis fontos részét képezik egymás környezetének. A viszony gyakran ellenséges, és nem együttműködő, ezt azonban kezelhetjük egyszerűen az előjel megfordításával. És itt jutunk el ennek a fejezetnek a második fő témájához, a „fegyverkezési versenyhez”. Fegyverkezési verseny folyik a ragadozók és a prédák között, a paraziták és a gazdaállatok között, sőt – bár ez jóval finomabb és itt nem is tárgyalom tovább – egy fajon belül a hímek és a nőstények között.

A fegyverkezési verseny az evolúciós idő léptékében folyik, és nem egyedi életekben. Abban áll, hogy az egyik leszármazási vonal (mondjuk a prédaállatoké) életben maradásra szolgáló berendezései tökéletesednek annak közvetlen következményeként, hogy egy másik leszármazási vonal (mondjuk a ragadozóké) az evolúció során tökéletesedik. Mindenütt fegyverkezési versennyel találkozunk, ahol az egyedeknek ellenségeik vannak és egyben képességük az evolúciós tökéletesedésre. A fegyverkezési versenyt azért tartom végtelenül fontosnak, mivel nagyrészt ez vitt haladást az evolúcióba. Hiszen, szemben a korábbi előítéletekkel, az evolúcióban semmiféle haladás sincs eleve benne. Ezt beláthatjuk, ha megfontoljuk, mi történt volna, ha az állatoknak csak az időjárással és a nem élő környezet más aspektusaival kellett volna megküzdeniük.

Az összegződő szelekció sok nemzedéke után egy adott helyen az ott élő állatok és növények jól alkalmazkodnak a feltételekhez, például az időjáráshoz. Ha az hideg, akkor az állatok vastag bundát vagy tollazatot fejlesztenek. Ha száraz, akkor viaszos, vízhatlan bőrük alakul ki, hogy testük csekély víztartalmát megőrizték. A helyi viszonyokhoz való alkalmazkodás befolyással van a test minden részére, alakjára és színére, belső szerveire, viselkedésére és sejtjeinek vegyi folyamataira.

Ha azok a feltételek, amelyek között az állatok egy leszármazási vonala él, állandók maradnak – mondjuk száraz és forró volt megszakítás nélkül az elmúlt száz nemzedék során –, akkor ennek a leszármazási vonalnak az evolúciója valószínűleg leáll, legalábbis ami a hőmérséklethez és a páratarta-

lomhoz való alkalmazkodást illeti. Az állatok a lehető legjobban alkalmazkodnak a helyi viszonyokhoz. Ez nem jelenti azt, hogy ne lehetne őket tökéletesen újratervezni, hogy még jobban alkalmazkodjanak. Ez azt jelenti, hogy nem képesek saját magukat tökéletesíteni *kicsiny* (s ezért valószínű) evolúciós lépéssel: „biomorfterük” helyi megfelelőjében egyik *közvetlen* szomszédjuknak sem megy jobban.

Az evolúció teljesen leáll mindaddig, amíg a feltételekben valami meg nem változik: jégkorszak kezdődik, megváltozik a terület átlagos csapadéka, megváltozik az uralkodó szélirány. Ilyen változások csakugyan bekövetkeznek, amikor az evolúció léptékével dolgozunk. Ennek következtében az evolúció rendes körülmények között nem áll le, hanem állandóan „követi” a változó környezetet. Ha a terület átlaghőmérséklete egyenletesen csökken, és ez a csökkenés századokon át tart, akkor az állatok egymást követő nemzedékeit állandó szelekciós nyomás hajtja abba az irányba, hogy mondjuk hosszabb szőrzetet növeessenek. Ha néhány ezer év után a hőmérséklet-változás iránya megfordul és az átlaghőmérséklet elkezd újra fölfelé kúszni, akkor az állatok új szelekciós nyomás hatása alá kerülnek, és ez abba az irányba tolja őket, hogy ismét rövidebb szőrzetet növeessenek.

Eddig azonban a környezetnek csupán egy korlátozott részét vettük figyelembe, nevezetesen az időjárás. Az időjárás nagyon fontos az állatok és a növények számára. A mintázata változik, ahogy a századok múlnak, és ez állandó mozgásban tartja az evolúciót, ahogy nyomában jár a változásoknak. Az időjárás mintázatok azonban véletlenszerű, következtelen módon változnak. Vannak az állat környezetének más részei, amelyek következetesebben rosszindulatú irányban változnak, és ezeket is nyomon kell követni. A környezetnek ez a része magukból az élőlényekből áll. Egy olyan ragadozó számára például, mint a hiéna, a préda – a gnúk, a zebrák és az antilopok változó népessége – legalább olyan fontos része a környezetnek, mint az időjárás. A síkságokat fű után bebarangoló antilopok és más legelésző állatok számára lehet az időjárás fontos, de az oroszlánok, a hiénák és más húsevők szintén fontosak. Az összegződő szelekció tesz arról, hogy az állatok alkalmasak legyenek lefutni ragadozóikat vagy túljárni prédáik eszén, és nem kevésbé gondoskodik erről, mint az uralkodó időjárás feltételekhez való alkalmazkodásról. És éppúgy, ahogy az időjárás ingadozásait nyomon követi az evolúció, ugyanúgy a ragadozók szokásait vagy fegyverzetét is nyomon követi prédáik evolúciós változása. És természetesen ez fordítva is áll.

Egy faj „ellenségeinek” általános kifejezését minden más élőlényre értjük, amelyek az életet megnehezítik számára. Az oroszlánok ellenségei a zebrák. Talán kissé durva dolognak tűnne megfordítani az állítást: a zebrák ellenségei az oroszlánoknak. A zebra szerepe ebben a viszonyban túlságosan ártatlan és túlságosan a sértett felé, hogysem indokolná ezt a pejoratív jellemzést. Ám a zebraegyedek minden erejükkel ellenállnak annak, hogy az oroszlánok megegyék őket, és az oroszlánok nézőpontjából ez megnehezíti

az életet. Ha az összes zebra és más füevő sikerrel eléri célját, akkor az oroszlanok éhen halnak. Így definíciónk szerint a zebrák az oroszlanok ellenségei. A paraziták, mint például a szalagférgek, ellenségeik gazdaállataiknak, azok pedig a paraziták ellenségei, mert hajlamosak mindenféle eszközt kifejleszteni, hogy ellenálljanak nekik. A növényevők a növények ellenségei, a növények pedig a növényevők ellenségei, amennyiben töviseket és mérges vagy rossz ízű anyagokat állítanak elő.

Az állatok és a növények származási vonalai az evolúciós idő folyamán nem kisebb elszántsággal követik nyomon ellenségeik változásait, mint az átlagos időjárási feltételekét. A gepárd fegyverzetének és taktikájának evolúciós tökéletesedése a gazellák szempontjából olyan, mint az éghajlat folyamatos romlása, és ugyanígy igyekeznek a nyomában járni. Van azonban egy rendkívül fontos különbség a kettő között. Az időjárás változik a századok folyamán, de *nem* szándékosan rosszindulatú módon változik. Nem az a törekvése, hogy „elkapja” a gazellákat. Az átlagos gepárd ugyanúgy változik a századok folyamán, mint az éves átlagos csapadék. Ám, míg az átlagos évi csapadék konkrét ritmus vagy indok nélkül mozog le és föl, az átlagos gepárd, ahogy a századok múlnak, egyre jobban fel lesz szerelve a gazellavadászatra, őseihez képest. Ez azért van így, mert a gepárdok egymást követő nemzedékei, eltérően az egymást követő éves időjárási feltételektől, maguk is az összegződő szelekciónak vannak kitéve. A gepárdok egyre fürgébb lábúak, élesebb szeműek, erősebb állkapcsúak és fogúak lesznek. Bármilyen „ellenséges” legyen is az időjárás vagy más élettelen feltétel, nincs benne szükségszerű tendencia arra, hogy egyre ellenségesebbé váljon. Az élő ellenségeknek az evolúció folyamán viszont pontosan ez a hajlamuk.

A húsevők folyamatos tökéletesedésének tendenciája hamarosan kifulladásra, ahogy az emberi fegyverkezési hajszák is (a gazdasági ár miatt, amire vissza fogunk még térni), ha nem tapasztalnánk ezzel párhuzamos tendenciát a prédaállatoknál. És viszont. A gazellák nem kevésbé vannak kitéve az összegződő szelekciónak, mint a gepárdok, és így a nemzedékek során ők is tökéletesednek, gyorsabban futnak, gyorsabban reagálnak, láthatatlanná válnak a magas fűben. Ők is képesek abba az irányba fejlődni, hogy egyre jobb ellenségek legyenek, ebben az esetben a gepárdok ellenségei. A gepárdok szempontjából az átlagos évi hőmérséklet az évek során nem válik szisztematikusan kedvezőbbre vagy rosszabbra, eltekintve attól, hogy egy jól alkalmazkodott állat számára a változás mindig rosszabbodást jelent. Az átlagos éves gazella azonban szisztematikusan kedvezőtlenebbé válik – nehezebb elejteni, mert alkalmazkodott a gepárdok előli meneküléshez. A gazellák folytonos tökéletesedésének tendenciája megint csak lelassulna, illetve leállna, ha nem volna az ezzel párhuzamos tendencia, amit a ragadozók mutatnak. Az egyik fél javul egy kicsit, mert a másik is úgy tesz. És viszont. A folyamat ördögi körré válik százezer évnyi léptékben.

A nemzetek világában azok rövidebb időléptékében akkor beszélünk „fegyverkezési versenyről”, amikor két ellenség a másik fejlesztéseire vála-

szolva egyre tökéletesíti fegyverzetét. Az evolúció analógiája eléggé közel áll ehhez, és így jogos a kifejezés kölcsönzése, és még csak nem is mentegetőzőm nagyképű kollégáim előtt, akik megtisztítanak nyelvünket az ilyen megvilágító erejű képektől. Ezt a gondolatot a gazellák és gepárdok egyszerű példáján keresztül vezettem itt be. Ezzel az volt a célom, hogy rávilágítsak a fontos különbségre az eleven ellenség, amely maga is ki van téve az evolúciós változásnak, és az időjáráshoz hasonló élettelen, nem rosszindulatú feltételek között, amelyek változnak ugyan, de ez nem szisztematikus, evolúciós változás. Ám itt az ideje bevallanom, hogy midőn ennek az érvényes állításnak a megmagyarázására törekedtem, más szempontból esetleg félrevezettem az olvasót. Ha jobban belegondolunk, nyilvánvalóvá válik, hogy az örökkön előrehaladó fegyverkezési versenyről festett képem legalábbis egy szempontból túlságosan egyszerű volt. Vegyük a futás sebességét. A mostani megfogalmazásunkból az volna sejtendő, hogy a gepárdok és a gazellák fegyverkezési versenye addig halad előre nemzedékek során keresztül, mígnem egyre gyorsabbakká válnának egészen addig, hogy a hangsebességnél is gyorsabbak lesznek. Erre nem került mindeddig sor, és nem is fog. Mielőtt visszatérnék a fegyverkezési verseny tárgyalására, kötelességem néhány félreértést megelőzni.

Az első finomítás így szól. Azt a benyomást keltettem, hogy a gepárdok prédaejtő képességei és a gazellák ragadozóelkerülő képességei folytonosan tökéletesednek. Az olvasóban esetleg a rendületlen haladás viktoriánus eszméje támad föl, amelyben minden nemzedék jobb, finomabb és bátrabb, mint szülei. A természetben a valóság még csak nem is emlékeztet erre. Az az időlépték, amelyben jelentős tökéletesedés már észlelhető, mindenképpen sokkal hosszabb, hogysem egy tipikus nemzedéket az azt megelőzővel összehasonlítva a változás érzékelhető lenne. A tökéletesedés ezenkívül nem folytonos, hanem rapszodikus: stagnálás vagy éppenséggel néha visszalépés, és nem rendületlen haladás abba az irányba, amit a fegyverkezési verseny eszméje sugalmaz. A feltételek változásai, azoknak az élettelen erőknél a változásai, amelyeket az időjárás általános címszó alá vontam össze, valószínűleg elnyelik a fegyverkezési verseny lassú és hibás irányait, már amennyire bármely földi megfigyelő ennek tudatában lehet. Nagyon könnyen lehetnek hosszú időszakok, amikor a fegyverkezési versenyben semmiféle előrehaladás, sőt akár evolúciós változás sem történik. A fegyverkezési verseny néha kihalással végződik, s ekkor új fegyverkezési verseny kezdődik az alapvonalról. De mindezek után is a fegyverkezési verseny elgondolása marad messze a legkielégítőbb magyarázat azoknak a fejlett és bonyolult szerkezeteknek a létezésére, amelyekkel az állatok és a növények rendelkeznek. A fegyverkezési verseny hasonlata által sugallt progresszív tökéletesedés valóban létezik és megy a maga útján, még ha lökésszerűen és megszakításokkal is; és ha haladása túlságosan lassú is ahhoz, hogy egy ember életében vagy akár az írott történelem léptékében érzékelhető legyen.

A második finomítás az, hogy az általam „ellenségeknek” nevezett lények

viszonya bonyolultabb, mint a gepárdok és a gazellák története által sugalmazott egyszerű, kétoldalú kapcsolat. Az egyik bonyodalom az, hogy egy adott fajnak lehet két (vagy több) ellensége, amelyek egymásnak még veszélyesebb ellenségei. Az az elv rejlik e közhelyszerű félígazság mögött, amely szerint a fűnek jót tesz ha lelegetlik (vagy levágják). A nyáj füvet eszik, s ennél fogva a fű ellenségének lehetne tekinteni. A fűnek azonban más ellenségei is vannak a növényvilágban, a vele versengő gyomok, amelyek ha szabadon nőhetnek, akkor még jelentősebb ellenségévé válhatnak a fűnek, mint a nyáj. A fű szenved valamelyest attól, hogy a nyáj lelegetli, de a vele versenyben levő gyomok még jobban szenvednek. A réten ezért a nettó hatás a fűnek válik előnyére. Ebben az értelemben kiderül a végén, hogy a nyáj barátja a fűnek, és nem ellensége.

Annyiban azért *továbbra* is igaz az, hogy a nyáj ellensége a fűnek, hogy egy egyedi fűnövény jobban járna, ha nem enne meg egy tehen. Bármely mutáns növény, amelynek mondjuk van egy olyan vegyi fegyvere, amely megvédi a tehenekkel szemben, több magot szórna (ezek tartalmazzák a vegyi fegyver előállítására vonatkozó genetikai utasításokat), mint saját fájának rivális tagjai, amelyek inkább ínyükre vannak a teheneknek. Még ha egy sajátos értelemben a tehenek „barátai” is a fűnek, a természetes szelekció *nem* kedvez az olyan fűgyedeknek, amelyek mindent elkövetnek azért, hogy a tehenek megegyék őket! Ebből a bekezdésből a következő általános következtetést vonhatjuk le. Kényelmes lehet két leszármazási vonal, például nyáj és fű vagy gazellák és gepárdok közötti fegyverkezési versenyről gondolkodni, de sohasem szabad szem elől téveszteni azt a tényt, hogy mindkét félnek vannak más ellenségei is, amelyekkel egyidejűleg további fegyverkezési versenyben kell részt venniük. Itt nem foglalkozom tovább ezzel a kérdéssel, de továbbfejleszthető annak magyarázata gyanánt, hogy bizonyos fegyverkezési versenyek miért stabilizálódnak és nem folynak a végtelenségig, nem vezetnek oda, hogy a ragadozók hangsebességgel üldözik prédájukat és így tovább.

Az egyszerű fegyverkezési verseny harmadik finomítása nem is annyira finomítás, mint önmagában is érdekes tétel. A gepárdokkal és a gazellákkal kapcsolatos hipotetikus fejtegetésemben azt mondtam, hogy a gepárdok, nem úgy, mint az időjárás, a nemzedékek folyamán azt a tendenciát mutatják, hogy jobb vadászokká, veszélyesebb ellenségekké, a gazellák megölésére jobban felszerelt ragadozókká váljanak. Ebből azonban még nem következik, hogy *sikeresebbek* is lesznek a gazellák megölésében. A fegyverkezési verseny elgondolásának magja az, hogy mindkét oldal a maga szempontjából tökéletesíti arzenálját, miközben ezzel egyidejűleg a másik fél számára megnehezíti az életet. Ám nincs semmi konkrét okunk (legalábbis olyan, amiről eddig beszéltünk volna) arra számítani, hogy a fegyverkezési verseny bármelyik oldala is folyamatosan sikeresebbé vagy kevésbé sikeressé válna, mint a másik. Tulajdonképpen a fegyverkezési verseny eszméje a legtisztább formájában éppen azt sugallja, hogy a verseny két résztvevőjének *sikerará-*

nyában egészen pontosan nulla haladásnak kell lennie, miközben határozott haladás mutatkozik mindkét oldalon a sikerhez szükséges *felszerelések* tekintetében. A ragadozóknak tökéletesednek a gyilkolási eszközeik, a prédának viszont tökéletesebb eszközeik lesznek azok elkerülésére, így a nettó eredmény a sikeres vadászatok arányának változatlansága.

Burkoltan ebben az a következtetés rejlik, hogy ha időgép segítségével az egyik korszak ragadozói találkozhatnának egy másik korszak prédáival, akkor a későbbi, „modernebb” állatok akár ragadozók, akár prédák, többszörösen leköröznék a korábbiakat. Ez nem olyan kísérlet, amit valaha is végre lehetne hajtani, noha vannak akik feltételezik, hogy bizonyos távoli és elszigetelt fauna, például Ausztrália vagy Madagaszkár faunája fölfogható úgy, mintha ősi volna, mintha egy ausztráliai utazás megfelelné egy múltbeli utazásnak az időgépen. Ezek az emberek úgy vélik, hogy a bennszülött ausztráliai fajok kihalásra lennének ítélve, ha a külvilágból behozott felsőbbrendű versenytársakkal vagy ellenségekkel kellene találkozniuk, mivel a bennszülött fajok „öregebb”, „elavultabb” modellek, s ugyanabban a helyzetben volnának az inváziós fajjal szemben, mint egy viking hajó, amely egy atom-tengeralattjáróval veszi föl a harcot. Ám nehéz igazolni azt a feltevést, hogy Ausztráliának „élő kövület” a faunája. Elképzelhető, hogy jó érveket lehetne e mellett felhozni, de ritkán kerül rá sor. Attól tartok, nem több ez, mint zoológiai megfelelője annak a sovíniszta sznobizmusnak, amely szerint minden ausztrál faragatlan csavargó, akinek a kalapja alatt nincs sok, a karimáján pedig bogyók lógnak.

Ennek az elvnek, hogy a siker *aránya* nem változik, függetlenül attól, mekkora az evolúciós haladás a *berendezésekben*, a jól megjegyezhető vöröskirálynő-hatás* nevet adta Leigh van Valen amerikai biológus. Az *Alice Tükörországbán* egyik jelenetében a vörös királynő megfogja Alice kezét és egyre gyorsabban és gyorsabban vonszolja magával tébolyult rohanással át az országon, de bármilyen gyorsan futnak is, mindig ugyanazon a helyen maradnak. Alice, érthetően meghökkenve, így szól: „A *mi* országunkban, ha az ember ilyen sokáig ilyen gyorsan szalad, mint mi az előbb, akkor rendszerint egy másik helyre jut.” „Lassú egy ország lehet – mondta a királynő. – Minálunk, ha teljes erődből rohansz, az épp csak arra elég, hogy egy helyben maradj. Ha máshová akarsz jutni, legalább kétszer olyan gyorsan kell futnod!”

A vörös királynő címke mulatságos és félrevezető is lehet, ha (ahogy néha teszik) valami matematikailag pontos jelentést, szó szerint zéró relatív haladást értenek rajta. Egy másik félrevezető tulajdonsága, hogy az Alice-történetben a vörös királynő kijelentése valóban paradoxon, összeegyeztethetetlen a józan értelemmel a valóságos fizikai világban. Van Valen evolúciós vöröskirálynő-hatása azonban egyáltalán nem paradoxon. Tökéletes összhangban van a józan ésszel mindaddig, amíg a józan ész értelmesen alkal-

* A magyar fordításban sötét királynő szerepel. (A szerkesztő)

mazzuk. Ám ha nem paradoxon, akkor a fegyverkezési verseny olyan helyzetekhez vezethet, amelyeken a gazdasági beállítottságú ember megütözik a pocsékolás miatt.

Miért olyan magasak például a fák az erdőben? A rövid válasz erre az, hogy az összes többi fa is magas, ezért egyetlen fa sem engedheti meg magának, hogy alacsony legyen. Ha mégis, akkor a többiek árnyékba borítanak. Ez lényegében igaz, de bántja a gazdasági beállítottságú embert. Olyan értelmetlennek, olyan pocsékolásnak tűnik. Amikor minden fa eléri a lombkorona teljes magasságát, mindegyik megközelítőleg egyenlő mértékben van kitéve a Napnak, és egyik sem engedheti meg magának, hogy alacsonyabb legyen. De ha *mindannyian* alacsonyabbak lennének, ha volna valamiféle szakszervezeti megegyezés, hogy lejjebb szállítják az erdők lombkoronaszintjét, az *minden* fának a javát szolgálná. Pontosan ugyanannyi napfényért versengenének egymással a lombkoronaszinten, ám ennek eléréséhez mindannyiuknak jóval kevesebb energiára lenne szüksége. Ez javára válna az erdő teljes gazdaságának, és így minden egyes fának is. Sajnos a természetes szelekció nem törődik az összgazdasággal, és nincs benne hely a kartellek és az egyezmények számára. Fegyverkezési verseny zajlott le, amelyben a fák a nemzedékek során nagyobbak lettek. A fegyverkezési verseny egyes szakaszaiban nem származott eleve előny abból, hogy egy fa magas. A fegyverkezési verseny minden szakaszában egy fa számára a magasság egyetlen értelme az volt, hogy a szomszédos fáknál legyen magasabb.

A fegyverkezési verseny hevében a fák átlagos magassága az erdő lombkoronaszintjében egyre nőtt. A magasság által nyert előny azonban nem növekedett. Ténylegesen csökkent a növekedés nagyobb költségei miatt. A fák egymást követő nemzedékei egyre magasabbra és magasabbra nőttek, végül azonban bizonyos értelemben jobban tették volna, ha ott maradtak volna, ahonnan indultak. Innen van tehát a kapcsolat Alice-szal és a vörös királynővel, de mint láthatjuk, a fák esetében ez nem valóságos paradoxon. Általános jellemzőjük a fegyverkezési versenyeknek, az emberekéit is beleértve, hogy noha mindenki jobban járna, ha *egyikük sem* fejlesztené, mindaddig, amíg egyikük fejleszt, a többi sem engedheti meg, hogy *ne* tegye. Egyébként újra hangsúlyoznom kell, hogy túlságosan leegyszerűsítettem a történetet. Nem az akarom sugallni ezzel, hogy minden szó szerint vett nemzedékben a fák magasabbak, mint az előző nemzedékbeli megfelelőik, s azt sem, hogy a fegyverkezési verseny szükségszerűen ma is tart.

Egy másik tétel, amit a fák példája illusztrál, hogy a fegyverkezési verseny nem szükségképpen különböző fajok tagjai között zajlik. A faegyedeket épp akkora valószínűséggel takarja árnyékkal saját fajuk egy másik tagja, mint egy másik faj egyede. Sőt ez valószínűleg még fokozottabban igaz, hiszen a szervezeteket általában jobban fenyegeti a saját fajuktól eredő versengés, mint a más fajoktól eredő. A saját faj tagjai sokkal inkább a részletekig ugyanazokért az erőforrásokért versenyeznek, mint más fajok tagjai. Fajon

belüli fegyverkezési versennyel találkozunk a hím szerepek és a nőstény szerepek között, valamint a szülő szerepek és az utód szerepek között. Ezekkel *Az önző gén* c. munkámban foglalkoztam, s itt nem fejtem ki részletesebben.

A fatörténet révén módom nyílik bevezetni egy fontos általános különbséget a fegyverkezési verseny két fajtája között, amelyet szimmetrikus és aszimmetrikus fegyverkezési versenynek nevezek. A szimmetrikus fegyverkezési verseny olyan versengő felek között zajlik, amelyek nagyjából ugyanazt a dolgot próbálják megtenni. Ilyen példa a fény eléréseért küzdő erdei fák fegyverkezési versenye. A fák különböző fajai nem pontosan ugyanúgy élnek, de ami a szóban forgó konkrét versenyt illeti – a napfényért a korona szintje fölött –, ugyanazért a forrásért versenyeznek. Olyan fegyverkezési versenyben vesznek részt, amelyben az egyik oldal sikere a másik oldalon kudarcként jelenik meg. Azért is szimmetrikus a fegyverkezési verseny, mert a két fél sikerének és kudarcának jellege azonos: napfényhez jutás vagy árnyékba kerülés.

A gepárdok és a gazellák közötti fegyverkezési verseny azonban aszimmetrikus. Valódi fegyverkezési verseny annyiban, hogy ugyan a sikert akár melyik oldalon is a másik oldal kudarcként éli át, a két fél sikerének és kudarcának a jellege azonban nagyon különbözik. A két fél nagyon eltérő dolgokat „próbál” tenni. A gepárdok arra törekszenek, hogy gazellát egyenek. A gazellák nem gepárdokat akarnak enni, hanem megpróbálják elkerülni, hogy a gepárdok megegyék őket. Az evolúció szempontjából az aszimmetrikus fegyverkezési versenyek sokkal érdekesebbek, mivel nagyobb valószínűséggel járulnak hozzá bonyolult fegyverrendszerek kialakulásához. Megértjük, hogy ez miért van, ha az emberi haditechnikából veszünk példákat.

Példaként felhasználhatom az Egyesült Államokat és a Szovjetuniót, de ehhez valójában nincs szükség konkrét nemzetek említésére. Bármelyik fejlett ipari ország által gyártott fegyverek juthatnak arra a sorsra, hogy nagyon különböző nemzetek vásárolják meg őket. Egy sikeres támadófegyver, például a felszín közelében repülő Exocet típusú lövedék léte, többnyire előidézi a hatásos ellenszer feltalálását, például a lövedék irányítórendszerét összezavaró rádióberendezését. Az ellenszert nagyobb valószínűséggel gyártja az ellenséges ország, de előállíthatja ugyanaz az ország, sőt ugyanaz a vállalat is! Végül is egyetlen vállalat sincs jobb helyzetben egy adott lövedék zavaróeszközének megtervezésében, mint az, amely a lövedéket gyártotta. Semmi erendendően valószínűtlen nincs abban, hogy ugyanaz a vállalat állítja elő mindkettőt és adja el egy háború egymással szemben álló feleinek. Elég cinikus vagyok ahhoz, hogy gyanítsam, ez valószínűleg elő is fordul, ami jól illusztrálja azt a tételt, hogy a *berendezések* tökéletesednek (és a költségeik növekednek), miközben nettó *hatékonyságuk* változatlan.

Jelen szempontunkból lényegtelen, hogy a gyártók az emberi fegyverkezési verseny szemben álló oldalain ellenségei-e egymásnak vagy azono-

sak. A fontos az, hogy az eszközök maguk tekintet nélkül gyártóikra, ellenségei egymásnak abban a konkrét értelemben, ahogyan ebben a fejezetben meghatároztam őket. A lövedék és a sajátos zavaróberendezés ellenségei egymásnak, amennyiben az egyik sikere a másik kudarcával egyenértékű.

A lövedék és speciális ellenszerének példáját eddig úgy tárgyaltam, hogy nem hangsúlyoztam evolúciós, progresszív oldalát, márpedig ez a fő oka, hogy ebbe a fejezetbe belekerült. A lényeg az, hogy a lövedék a mai formájában nem csupán alkalmas ellenszer, mondjuk egy rádiózavaró berendezés megalkotását váltja ki. A rakétaelhárító berendezés előidézi a lövedék konstrukciójának tökéletesítését is, amivel konkrét ellenfelet kell szembehelelyezni, egy rakétaelhárító rakétát elhárító berendezést. Szinte olyan ez, mintha a rakéta minden egyes tökéletesítése magát a következő tökéletesítést utánozná hatása révén az ellenszerben. A berendezés tökéletesítése így visszacsatolódik. Ez a robbanásszerű, megszaladó evolúció receptje.

Az ilyen feltalálásnak és ellenfeltalálásnak néhány évig váltakozó szerencsével folyó küzdelme révén mind a rakéta, mind ellenszere mai változata nagyon kifinomulttá válik. Ugyanakkor – s ismét itt van a vöröskirálynő-hatás – nincs okunk arra számítani, hogy a fegyverkezési verseny akármelyik résztvevője is sikeresebben végezné a dolgát, mint a verseny kezdetén. Sőt, ha mind a rakéta, mind a rakétaelhárító berendezés azonos sebességgel tökéletesedtek, akkor számíthatunk rá, hogy a legújabb, legfejlettebb és legkifinomultabb változatok és a legkorábbi, legprimitívebb és legegyszerűbb változatok pontosan ugyanolyan sikeresek lesznek a kortárs szemben álló berendezésekhez képest. A konstrukcióban történt haladás, de nem történt haladás a teljesítményben, pontosan azért, mert a fegyverkezési verseny mindkét oldalán egyenlő mértékű volt a haladás a konstrukcióban. Sőt *éppen azért* fejlődött olyan nagymértékben a konstrukció finomsága, mert mindkét oldalon megközelítőleg azonos volt a haladás. Ha az egyik oldal, teszem azt, a rakétaelhárító zavaróberendezés túlságosan előreszaladna a konstrukciós versenyben, akkor a másik oldalt, ebben az esetben a rakétát, egyszerűen nem gyártanák és nem használnák tovább: „kihalna”. Az eredeti Alice-példától eltérően a fegyverkezési verseny kontextusában a vöröskirálynő-hatás távolról sem paradox, hanem éppen a haladás gondolatának alapja.

Elmondtam, hogy az aszimmetrikus fegyverkezési verseny miért vezet nagyobb valószínűséggel érdekes tökéletesítésekhez, mint a szimmetrikus, s ezt most már illusztráltam is az emberi hadászatból vett példa segítségével. Ha az egyik nemzetnek van egy két megatonnás bombája, akkor a másik nemzet egy öt megatonnás bombát fog kifejleszteni. Ez az első nemzetet arra készíti, hogy tíz megatonnás bombát fejlesszen ki, ami azután a másikat provokálja, hogy húsz megatonnás bombát készítsen és így tovább. Ez egy igazi progresszív fegyverkezési hajszája; az egyik oldal felfejlesztése kiváltja a másik oldal ellenfejlesztését, s ez az idő előrehaladtával valamilyen tulajdonság egyenletes növekedéséhez vezet – ebben az esetben a bombák robba-

nóereje nő. Ám az ilyen szimmetrikus fegyverkezési versenyben nem találkozunk a konstrukciók részletes, egy az egyben való megegyezésével, a konstrukciók részleteinek olyan egymásba illeszkedésével vagy összefonódásával, mint amit az aszimmetrikus fegyverkezési versenyben például a rakéta és a zavaróberendezés között látunk. A rakétazavaró berendezést specifikusan úgy tervezték, hogy a rakéta konkrét, részletes tulajdonságain kerekedjék felül; az ellenszer tervezői a rakéta konstrukciójának egészen apró részleteit is figyelembe veszik. Így azután a rakétaelhárító berendezés ellenszerének tervezésekor a rakéták következő generációjának tervezésekor a konstruktőr felhasználja ismereteit az előző generáció ellenszerének részletes konstrukciójáról. Ez nem áll az egyre több megatonnás bombákra. Nem vitás, hogy az egyik oldal konstruktőrei elorozhatnak jó ötleteket a másik oldalról, és utánozhatnak konstrukciós jellemzőket. Ha így is van, ez mellékes. Nem *szükségképpen* része az orosz bomba konstrukciójának, hogy bizonyára részletes, egy az egyhez megegyezések találhatók benne az amerikai bomba konkrét részleteivel. Az aszimmetrikus fegyverkezési verseny esetében a fegyverek és a fegyverek konkrét ellenszereinek leszármazási vonalai között az egy az egyhez megfelelés vezet az egymást követő „nemzedékek” során az egyre nagyobb kifinomultsághoz és bonyolultsághoz.

Az élővilágban is bonyolult és kifinomult konstrukciókra kell számítnunk bárhol, ahol hosszú, aszimmetrikus fegyverkezési verseny végtermékeivel van dolgunk, amelyben az egyik fél haladására mindig egy az egyben, pontról pontra megfelelt a másik fél ugyanolyan sikeres *ellenszerekkel* (és nem versenytársakkal). Ez különösen igaz a ragadozók és prédáik közti, s talán még ennél is inkább a paraziták és gazdáik közti fegyverkezési versenyre. A denevérek által használt elektronikus és akusztikus fegyverrendszerek, amelyeket a 2. fejezetben tárgyaltunk, a finoman hangolt kidolgozottságnak az összes jelét mutatják, amire egy hosszú fegyverkezési verseny végtermékeitől számíthatunk. Azok a rovarok, amelyeknek köréből a denevérek áldozataikat szedik, ehhez foghatóan kifinomult elektronikus és akusztikus főlszereléssel vannak ellátva. Bizonyos éjjeli lepkék a denevér ultrahangjaira emlékeztető jeleket bocsátanak ki, amelyek úgy tűnik félrevezetik a denevéreket. Szinte minden állat ki van téve annak a veszélynek, hogy más állatok megeszik őket vagy annak a veszélynek, hogy nem sikerül megenniük más állatokat, ennél fogva az állatokra vonatkozó aprólékos tények óriási nagy száma csak akkor magyarázható értelmesen, ha eszünkbe idézzük, hogy hosszú és elkeseredett fegyverkezési verseny végtermékei. H. B. Cott az *Animal Coloration* (Állati színek) című klasszikus könyv szerzője nagyon jól fogalmazza ezt meg 1940-ben, és nyomtatásban talán ő használta először a biológiában a fegyverkezési verseny analógiáját:

„Mielőtt kijelentenénk, hogy egy szöcske vagy lepke álcázó megjelenése szükségtelenül részletes, először meg kell bizonyosodnunk természetes ellenségeinek észlelési és diszkriminációs képességeiről. Ha ezt nem tesszük, akkor ez olyan, mintha kijelentenénk, egy cirkáló fegyverzete túlságosan erős, vagy hogy ágyúinak lőtávolsága túlsá-

gosan nagy, anélkül, hogy megvizsgálánánk az ellenség fegyverzetének jellegét és hatékonyságát. A helyzet az, hogy a dzsungel ősi küzdelmében éppúgy, mint a civilizált háborúskodás fejleményeiben egy nagy evolúciós fegyverkezési verseny folyamatát látjuk, amelynek eredményei a védekezés oldalán a sebesség, az éberség, a fegyverzet, a tüskesség, az odúásási szokások, az éjszakai szokások, a mérgező váladékok, az undorító íz és az álcázás vagy a védekezőszínezés más típusai; a támadás oldaláról pedig ezzel szemben álló tulajdonságok a sebesség, a meglepetés, a roham, a becserkészés, a látás élessége, az állkapcsok, a fogak, a fullánkok, a méregfogak és a csalétkék. Ahogy az üldözött nagyobb sebessége az üldöző megnövekedett sebességéhez képest fejlődik ki vagy a védekező fegyverzet a támadó fegyverzethez képest, ugyanígy a rejtőzködés eszközeinek tökéletesedése az észlelés megnövekedett képességére adott válaszként fejlődött ki.”

A fegyverkezési versenyt könnyebb tanulmányozni az emberi technikában, mint biológiai megfelelőiben, mivel az előbbi sokkal gyorsabb. Évről évre szó szerint láthatjuk fejlődését. A biológiai fegyverkezési verseny esetében viszont rendszerint csak a végterméket látjuk. Nagy ritkán az elhullt állat vagy növény kövületté válik, s ilyenkor kissé közvetlenebbül láthatjuk az állati fegyverkezési verseny egymást követő szakaszait. Ennek egyik legérdekesebb példája az elektronikus fegyverkezési verseny, ahogy az a megkövült állatok agyméreteiben megmutatkozik.

Maga az agy nem válik kövületté, de a koponyák igen, s az az üreg, amely az agynak otthont adott, ha megfelelő körületekintéssel értelmezzük, jó támpontokkal szolgálhat az agy méretének megállapításához. Azt mondtam „ha megfelelő körületekintéssel értelmezzük”, s ez a finomítás nagyon fontos. A számos probléma között találjuk a következőt. A nagy állatoknak gyakran nagy agyuk van, részben egyszerűen azért, mert nagyok, ez azonban nem szükségképpen jelenti azt, hogy bármilyen érdemleges módon „okosabbak” volnának. Az elefántoknak nagyobb agyuk van, mint az embereknek, de valószínűleg némi joggal szeretjük azt gondolni, hogy okosabbak vagyunk, mint az elefántok, és hogy agyunk a „valóságban” nagyobb, ha tekintetbe vesszük azt a tényt, hogy sokkal kisebb állatok vagyunk. Kétségtelen, hogy agyunk testünknek sokkal nagyobb *hányadát* teszi ki, mint az elefántok agya, ami jól látható koponyánk domborodó formájából. Ez nem *csak* a faj hiúsága. Feltehető, hogy bármely agy lényeges része szükséges a testről való gondoskodás rutinszerű műveleteinek végzésére, s egy nagy test automatikusan nagy agyat igényel ehhez. Módot kell találnunk arra, hogy számításainkból kivegyük az agynak azt a részét, amely egyszerűen a testméretnek tulajdonítható, s így a maradékot, mint az állatok valódi „eszességét” vethetjük egybe. Úgy is megfogalmazhatjuk ezt, hogy jó módszerre van szükségünk annak meghatározásához, pontosan mit is értünk igazi eszességen. Más-más embereknek szabadságukban áll a számítások más-más módszereivel előállni, de valószínűleg a legnagyobb tekintélyt élvező mutató az *enkefalizációs hányados* vagy EQ, amit Harry Jerison, az agytörténet vezető amerikai kutatója használt.

Az EQ-t egy kicsit bonyolultan számítják: veszik az agy tömegének és a test tömegének a logaritmusát, és egy nagyobb csoport, például az emlősök egésze, átlagos számaihoz mint alaphoz viszonyítják. Éppúgy, ahogy az intelligenciahányadost vagy IQ-t a pszichológusok az egész populáció átlagához képest standardizálva használják (esetleg helytelenül), az EQ standardizálásához az emlősök egésze szolgál alapul. Ahogy a 100-as IQ definíció szerint az egész népesség átlagával azonos IQ-t jelent, ugyanígy az egyes EQ definíció szerint mondjuk az ilyen agyméretű emlősök átlagával azonos. A matematikai eljárás részletei nem fontosak. Szavakban egy adott faj, például egy rinocérosz vagy egy macska EQ-ja, annak mértéke, hogy mennyivel nagyobb (vagy kisebb) az állat agya, mint amit az adott állat teste alapján várhatnánk. Kétségtől vitatható és bírálható az a mód, ahogyan ezt számítjuk. Az a tény, hogy az embereknek 7-es EQ-juk, a vízilovaknak pedig 0,3-es EQ-juk van, talán nem jelenti szó szerint azt, hogy az emberek 23-szor okosabbak a vízilovaknál! Az így mért EQ azonban valószínűleg mond nekünk *valamit* arról, hogy egy állatnak mekkora „számítási kapacitás” van a fejében, a nagy vagy kis testének rutinszerű működtetéséhez szükséges minimális számítási kapacitáson túl.

A mai emlősök közt mért EQ-k nagyon változatosak. A patkányoknak 0,8-as EQ-juk van, ami kissé alatta van az összes emlős átlagának. A mókusoké egy kicsit magasabb, körülbelül 1,5. Lehet, hogy a fák háromdimenziós világa többszámítási képességet követel meg a pontos ugrások vezérléséhez, sőt még többet ahhoz, hogy gazdaságos útvonalakat találjon ki az ágak útvesztőjében, amely később meg is szakadhat. A majmok jócskán az átlag fölött vannak, az emberszabásúak (különösen mi magunk) még magasabban. Kiderült, hogy a majmokon belül is bizonyos típusoknak magasabb EQ-juk van, mint másoknak, s hogy érdekes módon van valamilyen kapcsolat a megélhetésükkel. A rovárevő és gyümölcssevő majmoknak nagyobb agyuk van a méretükhöz képest, mint a levélevő majmoknak. Nem ostobaság úgy érvelni, hogy az állatnak kevesebb számítási képességre van szüksége a mindenütt bőséggel megtalálható levelek fölkkutatásához, mint a gyümölcsökhöz, nem is beszélve a rovarok megfogásáról, amelyek mindent elkövetnek, hogy megmeneküljenek. Sajnos ma már úgy látszik, mintha a valódi helyzet bonyolultabb volna, és más változók, például az anyagsere sebessége fontosabbak lehetnek. Az emlősök egy részére nézve a húsevőknek jellegzetesen kissé magasabb az EQ-juk, mint azoknak a növényevőknek, amelyek prédául szolgálnak számukra. Az olvasónak valószínűleg van ötlete, hogy miért lehet ez így, az efféle elgondolásokat azonban nagyon nehéz ellenőrizni. Bármilyen az oka, mindenesetre úgy tűnik, tény.

Ennyit a mai állatokról. Jerison rekonstruálta a kihalt állatok valószínű EQ-ít, azokét, amelyek ma már csak kövületekként léteznek. Az agy méretéről úgy készített becslést, hogy plasztilinból megformálta a koponya belsejét. Elég sok találgatás és becslés szükséges ehhez, de a hiba esélye nem olyan nagy, hogy semmissé tenné az egész vállalkozást. Úgy teszünk, mintha egy

mai állatból csupán a kiszáradt koponya állna rendelkezésünkre, és ebből gipszöntvényt készítve becsüljük meg, mekkora az agya egyedül a koponya alapján megítélve, azután pedig ellenőrizzük ezt a becslést a valódi aggyal, s így megállapítjuk, mennyire volt pontos becslésünk. A mai koponyák ilyen ellenőrzése erősíti a bizalmat a régen elhalt agyak Jerison-féle becslései iránt. Első következtetése az, hogy felfedezhető az agyak növekedésének tendenciája az évmilliók során. Bármely adott időpontban az akkori növényevők többnyire kisebb aggyal bírtak, mint a velük egykorú és őket elejtő húsevők. A későbbi növényevőknek azonban jobbára nagyobb agyuk volt, mint a korábbiaknak, és a későbbi húsevőknek szintén nagyobb agyuk volt, mint a korábbi húsevőknek. Úgy tűnik a kőületekben fegyverkezési versenyt vagy méginkább egy sor újra kezdődő fegyverkezési versenyt látunk a húsevők és a növényevők között. Ez különösen tetszetős párhuzamra vall az emberi fegyverkezési versennyel, mivel az agy fedélzeti számítógépként szolgál mind a húsevők mind a növényevők számára, s a mai emberi haditechnikában valószínűleg az elektronika a leggyorsabban fejlődő elem.

Hogyan végződnek a fegyverkezési versenyek? Néha az egyik fél kihalásával végződhet, amely esetben a másik fél feltehetőleg leáll a fejlődéssel az adott irányban, sőt valószínűleg „vissza is fejlődik” a hamarosan tárgyalandó gazdasági okok miatt. Más esetekben a gazdasági nyomás álljt parancsolhat a fegyverkezési versenynek, ami stabil lehet annak ellenére, hogy az egyik fél bizonyos értelemben állandóan előbbre jár. Vegyük például a futási sebességet. A gepárd vagy a gazella sebességének végső korlátja van, a fizika törvényei szabta korlát. De sem a gepárdok, sem a gazellák nem érték el ezt a határt. Mindkettő alacsonyabb szintig tornászta csak föl magát, ami nézetem szerint gazdasági jellegű okokra vezethető vissza. A nagy sebesség technikája nem olcsó. Hosszú lábszárcsontokra, erős izomzatra, tág tüdőkre van hozzá szükség. Mindezek meglehetnek bármely állatnak, amelynek valóban fontos a gyors futás, de meg kell őket *vásárolni*. Mégpedig meredeken növekvő áron kell megvásárolni. Az ár mércéje az, amit a közgazdászok „a lehetőség költsége” néven neveznek. A lehetőség költsége olyasmi, amit mindazoknak az összegével mérünk, amikről le kell mondanunk annak érdekében, hogy az illető dolgokat megszerezhessük. A gyerek tandíjas magániskolába küldésének költsége mindazoknak a dolgoknak az összegéből áll össze, amelyeket ennek következtében nem engedhetünk meg magunknak: az új kocsi, amit nem vehetünk meg, a tengerparti nyaralás, ami elmarad. A gepárd számára a nagyobb lábizmok ára mindazon dolgok összege, amiket a gepárd *tehetett volna* a lábizmokhoz fölhasznált anyagokkal és energiával, például több tejet adhatott volna a kölykeinek.

Természetesen szó sincs arról, hogy a gepárdok költségszámításokat végeznének! Mindezt automatikusan a közönséges természetes szelekció végzi. Lehet, hogy az a vetélytárs gepárd, amelynek nincsenek akkora lábizmokai, nem fut olyan gyorsan, viszont marad forrása egy további adag tejre, és ennél fogva esetleg még egy kölyköt föl tud nevelni. Azok a gepár-

dok nevelnek több kölyköt, amelyeknek a génjei optimális kompromisszumot hoznak létre a futás sebessége, a tejtermelés és a költségvetés összes többi kiadása között. Nem nyilvánvaló, hogy mi az optimális arány mondjuk a tejtermelés és a futás sebessége között. Minden bizonnyal fajonként eltér, és fajon belül is ingadozhat. Csupán annyi bizonyos, hogy az efféle kiegyensúlyozás óhatatlan. Amikor mind a gepárdok, mind a gazellák elérik azt a maximális futási gyorsaságot, amit saját, belső gazdaságuk alapján megengedhetnek maguknak, akkor a fegyverkezési verseny véget ér. Amikor gazdasági okokból mindketten leállnak, nem biztos, hogy azonos szinten lesznek. Előfordulhat, hogy a prédaállatok viszonylag többet költenek a költségvetésből védekező fegyverzetükre, mint a ragadozók támadó fegyverzetükre. Ennek egyik okát az ezópusi tanulság összegzi: a nyúl gyorsabban fut, mint a róka, mert a nyúl az életéért fut, a róka csak az ebédjéért. Gazdasági szempontból ez azt jelenti, hogy azok a rókaegyedek, amelyek más feladatokra csoportosítanak át forrásokat, jobban járnak, mint azok, amelyek gyakorlatilag minden erőforrásukat a vadászási technikára fordítják. A nyúl népességben ugyanakkor a gazdasági előny egyensúlya azok felé a nyúlegyedek felé tolódik el, amelyek sokat költenek a gyors futás megvalósítására. Az ilyen fajon *belüli* kiegyensúlyozott költségvetésnek az a végeredménye, hogy a fajok közötti fegyverkezési verseny kölcsönösen stabil állapotba jut úgy, hogy az egyik félnek előnye van.

Nem valószínű, hogy tanúi lehetünk a fegyverkezési verseny dinamikájának, mert nem valószínű, hogy a geológiai idő bármely adott pillanatában, például a miénkben, éppen mozgásban van. A ma látható állatokat azonban értelmezhetjük a múltban lefutott fegyverkezési verseny végeredményeként.

E fejezet üzenetét összegzendő elmondhatjuk: a gének nem belső tulajdonságaik alapján választódnak ki, hanem környezetükkel való kölcsönhatásuk eredményeként. Egy gén környezetének különösen fontos összetevője a többi gén. Ennek egyik oka, hogy a többi gén is változik a nemzedékek során. Ennek két fontosabb következménye van.

Az első, hogy azok a gének járnak jobban, amelyekben megvan az együttműködés tulajdonsága más gének irányában, amelyekkel valószínűleg találkoznak olyan körülmények között, amikor az együttműködés hasznos. Ez különösen – noha nem kizárólag – igaz az azonos fajon belüli génekre, mivel ezek gyakran osztoznak egymással ugyanazon sejten. Ez az együttműködő gének nagy csoportjainak kifejlődéséhez vezetett, s végül azoknak a testeknek a kifejlődéséhez, amelyek együttműködő vállalkozásuk termékei. Az egyedi test egy génszövetkezet által épített nagy hordozó- vagy túlélőgép, amelynek célja, hogy az illető szövetkezet minden tagjának másolatait megőrizze. Azért működnek együtt, mert mindannyian nyernek ugyanabból a kimenetelből – a közös test életben maradásából és szaporodásából –, valamint azért, mert fontos részét képezik annak a környezetnek, amelyben a természetes szelekció kifejti a hatását rájuk.

Másodszor, a körülmények nem mindig kedveznek az együttműködés-

nek. A gének a geológiai időben menetelve olyan körülmények között is találkoznak egymással, amelyek a szembenállásnak kedveznek. Ez különösen – ámbár nem kizárólag – igaz a különböző fajok génjeire. A különböző fajoknak az a lényegük, hogy génjeik nem keverednek, mivel a különböző fajok tagjai nem párosodnak egymással. Amikor az egyik faj kiválasztott génjei kínálják azt a környezetet, amelyben egy másik faj génjei szelektálódnak ki, a következmény gyakran evolúciós fegyverkezési verseny. A fegyverkezési verseny egyik oldalán kiválasztódott minden egyes új genetikai tökéletesedés megváltoztatja a környezetet a másik oldalon álló gének számára. Elsősorban az efféle fegyverkezési verseny felelős az evolúció látszólag *progresszív* jellegéért, a túlfejlett futási sebesség, a repülési készség, a személesség, a hallásélesség stb. evolúciójáért. Ez a fegyverkezési verseny nem tart örökké, hanem stabilizálódik például akkor, amikor a további tökéletesedés gazdaságilag túlságosan költségessé válik az érintett egyedek számára.

Ez nehéz fejezet volt, de bele kellett kerülnie a könyvbe. Enélkül az az érzés maradt volna bennünk, hogy a természetes szelekció csupán romboló folyamat, de legjobb esetben is gyomláló. Két módját láttuk, hogy miként lehet a természetes szelekció *konstruktív* erő. Az egyik a gének közötti együttműködési viszonyok a fajon belül. Alapfeltevésünk feltétlenül az, hogy a gének önző valamik, amelyek a faj génállományában saját tovaterjedésükért dolgoznak. Ám, mivel egy gén környezete kiemelkedő mértékben más génekből áll, amelyek ugyanabban a génállományban választódtak ki, előnyére válik, ha jól együttműködik ugyanannak a génállománynak a többi génjével. Ez az oka annak, hogy kifejlődtek az ugyanazon célokért egymással összhangban működő sejtekből álló nagy testek. Ezért léteznek testek, és nem különálló, az őselesben még mindig egymással csatázó replikátorok.

A testek azért fejlesztenek ki integrált és koherens céltudatosságot, mert a gének az *ugyanazon fajon belüli* más gének által nyújtott környezetben választódnak ki. Mivel azonban a gének kiválasztódása más fajok más génjeinek környezetében is folyik, fegyverkezési verseny alakul ki. A fegyverkezési verseny alkotja a másik nagy erőt, amely az evolúciót olyan irányba hajtja, amit „progresszív”, bonyolult „konstrukcióként” látunk. A fegyverkezési verseny inherens labilitását a „megszaladás” veszélye okozza. Pályájuk bizonyos értelemben céltalan és hiábavaló, más értelemben progresszív és végtelenül izgalmas számunkra, a megfigyelők számára. A következő fejezet a robbanó, megszaladó evolúció egyik konkrét, nagyon sajátos esetét veszi szemügyre, azt az esetet, amit Darwin szexuális szelekciónak nevezett.

8. FEJEZET

Robbanások és spirálok

Az emberi elme megrögzött analogizáló. Kényszerítve érezzük magunkat, hogy jelentést lássunk nagyon különböző folyamatok kicsiny hasonlóságai-ban. Panamában egyszer a nap nagy részét azzal töltöttem, hogy levélvágó hangyák két szapora kolóniájának csatáját figyeltem, és nem tudtam ellen-állni annak, hogy fejemben össze ne hasonlítsam a vétagokkal teliszórt csatamezőt azokkal a képekkel, amelyeket Passchendaele-ről láttam. Szinte láttam az ágyúkat és éreztem a lőporfüst szagát. Nem sokkal első könyvem, *Az önző gén* megjelenése után egymástól függetlenül két egyházi ember is megkeresett, akik mindketten ugyanarra az analógiára lyukadtak ki a könyv gondolatai és az eredendő bűn között. Darwin az evolúció eszméjét megkü-lönböztető módon alkalmazta olyan élő szervezetekre, amelyek változtatják testük formáját számtalan nemzedéken át. Követői kísértést éreztek, hogy mindenben evolúciót lássanak; a világegyetem változó formáiban, az emberi civilizációk fejlődési szakaszaiban, a szoknyahosszúság divatjaiban. Noha az efféle analógiák rendkívül termékenyek lehetnek, de könnyű túl nagy jelentőséget tulajdonítani nekik, és túlságosan izgalomba jönni olyan analó-giáktól, amelyek annyira gyengék, hogy haszontalanok, sőt egyenesen ártal-masak. Már hozzászóktam, hogy nekem is kijut a részem a bolondos leve-lekből, és megtanultam, hogy a meddő fantasztá észjárás egyik ismertető-jegy a túllelkesült analogizálás.

Másfelől a tudományban a legnagyobb előrelépések némelyike éppen azért jött létre, mert valamely okos ember rábukkant egy analógiára egy már jól megértett tárgy és egy még rejtélyes tárgy között. A megoldás abban áll, hogy egyensúlyt tudjunk tartani a túlságosan sok, válogatás nélküli analógia-keresés és a termékeny analógiák iránti természetlen vakság között. A sike-res tudóst és a hetet-havat összehordó fantasztát inspirációjuk minősége különbözteti meg egymástól. Azt gyanítom azonban, hogy a gyakorlatban a különbség nem annyira az analógiák észrevevésében, mint inkább az ostoba analógiák elvetésében és a hasznosak követésében nyilvánul meg. Félretéve azt a tényt, hogy itt egy újabb analógiával van dolgunk, amely lehet ostoba vagy termékeny (és semmiképpen nem eredeti), mégpedig a tudományos haladás és a darwini evolúciós kiválasztódás közti analógiával, térjünk rá most arra, ami a jelen helyzet szempontjából lényeges. Két egymásba fonódó analógiáról szeretnék beszélni, amelyek szerintem inspirá-

lók, de ha nem vigyázunk, könnyen áteshetünk a ló másik oldalára. Az első olyan folyamatok között áll fönn, amelyeket az egyesít, hogy hasonlítsanak a robbanásokra. A második az igazi darwini evolúció és az úgynevezett kulturális evolúció közötti analógia. Szerintem ezek az analógiák lehetnek termékenyek – ez nyilvánvaló, hiszen máskülönben nem szenteltem volna nekik egy fejezetet. Ám legyen óvatos velük az olvasó.

A robbanások számunkra fontos tulajdonsága az, amit a mérnökök pozitív visszacsatolásként ismernek. A pozitív visszacsatolást legjobban ellentétével, a negatív visszacsatolással összehasonlítva érthetjük meg. A negatív visszacsatolás a legtöbb automatikus vezérlés és szabályozás alapja, s egyik legszebb és legismertebb példája Watt gőzvezérlője. A hasznos motornak a forgóerőt egyenletes sebességgel kell adnia, mégpedig az adott feladatnak: őrlésnek, szövésnek, pumpálásnak vagy bármi egyébnek megfelelő sebességgel. Watt előtt az volt a probléma, hogy a forgás sebessége a gőz nyomásától függött. Fűtsük fel a kazánt, és felgyorsítjuk a motort: nem kielégítő megoldás egy malom vagy egy szövőszék számára, amelyeknek egyenletes meghajtásra van szükségük. Watt vezérlője egy automatikus szelep, amely szabályozza a gőz beáramlását a dugattyúba.

Az ügyes trükk abban állt, hogy összekapcsolta a szelepet a motor által létrehozott forgómozgással oly módon, hogy mennél gyorsabban ment a motor, a szelep annál inkább elzárta a gőz útját. És fordítva, amikor a motor lassan járt, a szelep kinyílt. Ennélfogva a túlságosan lassan járó motor hamar felgyorsult, a túlságosan gyorsan járó pedig hamar lelassult. Az az eszköz, amellyel a vezérlő a sebességet mérte, egyszerű, de hatékony volt, s az elvet még ma is használjuk. Csuklópánttal ellátott karokra felfüggesztett golyópár forog körbe, amit a motor hajt. Gyors forgáskor a golyók a centrifugális erő hatására felemelik a karokat. Amikor lassan forognak, lejjebb ereszkednek. A csuklós karok közvetlenül kapcsolódnak a gőzszelephez. Kellően finom beállítással a Watt-féle vezérlő a gőzmotort képes megközelítően állandó sebességen tartani, annak ellenére, hogy a fűtés nem egyenletes.

Watt vezérlőjének alapelve a negatív visszacsatolás. A motor kimenetét (ebben az esetben a forgómozgást) visszacsatoljuk a motorba a gőzszelepen keresztül. A visszacsatolás *negatív*, mert a magas szintű kimenetnek (a golyók gyors forgása) negatív hatása van a bemenetre (a gőzellátásra). És fordítva, az alacsony kimenet (a golyók lassú forgása) fellendíti a bemenetet (a gőzt), s ezzel ismét visszajára fordítja a jelet. No de a negatív visszacsatolás elvét csak azért mutattam be, hogy szembeállíthassam a pozitív visszacsatolással. Vegyünk egy Watt-vezérlős gőzgépet, és hajtunk végre rajta egy alapvető változtatást. Fordítsuk visszajára a jelviszonyt a centrifugális golyóberendezés és a gőzszelep között. Most, amikor a golyók gyorsan pörögnek, a szelep ahelyett, hogy bezárulna, ahogy Watt eltervezte, *kinyílik*. És viszont, amikor a golyók lassan forognak, a szelep nem növeli a gőz beáramlását, hanem csökkenti. A normális Watt-vezérlés esetén, amikor a motor

elkezd lelassulni, akkor a szelep ezt a tendenciát hamarosan megfordítja, és a motor felgyorsul a kívánt sebességre. Módosított motorunk azonban ennek éppen az ellenkezőjét teszi. Ha elkezd lelassulni, akkor a szelep még tovább lassítja, és a motor hamarosan megáll. Ha viszont a módosított motor történetesen egy kicsit felgyorsul, akkor a csekély felgyorsulást megerősíti a vezérlő, s a motor egyre gyorsul. A gyorsulást pozitív módon visszacsatolja, amiből a motor még tovább gyorsul. Ez addig folytatódik, amíg vagy eltörik a motor a feszültségtől és az elszabadult lendkerék átrepül a gyár falán, vagy pedig nem fokozható tovább a göznyomás, és így egy maximális sebesség állandósul.

Ahol az eredeti Watt-féle vezérlő a negatív visszacsatolást alkalmazza, ott a mi hipotetikus módosított vezérlőnk az ezzel ellentétes, pozitív visszacsatolás példája. A pozitív visszacsatolásos folyamatok labilis, megszaladó jellegűek. A kicsiny, kezdeti zavarok felfokozódnak, és egyre növekvő spirál mentén elszabadulnak, ami vagy katasztrófába torkollik, vagy végül valamilyen magasabb szinten más folyamatok következtében kifulladás. A mérnökök termékenynek találták, hogy egy sor nagyon különböző folyamatot a negatív visszacsatolás, míg egy sor ugyancsak nagyon különböző folyamatot a pozitív visszacsatolás címszáva alá vonjanak össze. Az analógiák nem csupán valamilyen homályos minőségi értelemben termékenyek, hanem azért is, mert az összes ilyen folyamatnak közös matematikai alapja van. A biológusok, mikor olyan jelenségeket tanulmányoztak, mint a test hőszabályozása és azok a telítődési mechanizmusok, amelyek megakadályozzák a túlzott táplálékfelvételt, hasznosnak találták, ha a mérnököktől átveszik a negatív visszacsatolás matematikáját. A pozitív visszacsatolásos rendszereket ritkábban használják a mérnökök is, és az élő szervezetek is, mint a negatív visszacsatolást.

A mérnökök és az élő testek természetesen azért használják gyakrabban a negatív visszacsatolásos, mint a pozitív visszacsatolásos rendszereket, mert hasznos az olyan szabályozás, amely egy fontos értéket optimum körül tart. A labilis, megszaladó folyamatok nemhogy hasznosak, hanem egyenesen veszélyesek lehetnek. A kémiában a tipikus pozitív visszacsatolásos folyamat a robbanás, és általában is a robbanásszerű szót használjuk bármilyen megszaladó folyamat jellemzésére. Mondhatjuk például valakiről, hogy lobbanékony természete van. Egyik osztályfőnököm kulturált, udvarias és általában nemes lelkű férfi volt, de voltak alkalmi indulatkitörései, aminek ő maga is tudatában volt. Ha egy órán rendkívüli provokáció érte, akkor először nem szólt semmit, de az arcán látszott, hogy valami szokatlan dolog zajlik a bensejében. Azután kezdetben nyugodt és megfontolt hangszíval így szólt: „Istenem. Nem bírom tovább! Elvesztem az önuralmam! Bújjatok a pad alá! Figyelmeztetek benneteket! Jön!” Hangja egyfolytában emelkedett, és a csúcsponton bármit megfogott, ami a keze ügyébe került, könyveket, fahátú táblaszivacsokat, papírnehézeket, tintatartókat és gyors egymásutánban teljes erővel, de meglehetősen rossz célzással nagyjá-

ból abba az irányba hajigálta őket, ahol az őt provokáló fiú ült. Kedélye azután szép lassan megnyugodott, és másnap a legnyájasabban bocsánatot kért ugyanettől a fiútól. Tudta, hogy elvesztette önuralmát, és átélte, miként válik egy pozitív visszacsatolási hurok áldozatává.

Ám a pozitív visszacsatolás nem csupán megszaladó növekedéshez vezethet; vezethet megszaladó csökkenéshez is. Nemrég részt vettem egy vitán a Congregationban – ez az Oxfordi Egyetem „parlamentje” –, amely arról folyt, hogy megadják-e valakinek a címzetes fokozatot. Szokatlan módon a döntés nem volt egyértelmű. A szavazás után az alatt a 15 perc alatt, amíg a szavazatok összeszámlálása tartott, a beszélgetés általános moraja hallatszott azoktól, akik az eredményre vártak. Egyszer csak a beszélgetés furcsa módon elhalt, teljes csend állt be. Az ok a pozitív visszacsatolás érdekes esete volt. A következőképpen működött. Egy beszélgetés általános morájában óhatatlanul vannak véletlenszerű ingadozások a zajszintben, fölfelé is és lefelé is, amiket normális körülmények között nem veszünk észre. Ezeknek a véletlenszerű ingadozásoknak az egyike a halkulás irányában történetesen egy kicsivel feltűnőbb volt, mint rendesen, aminek következtében néhány ember észrevette. Mivel mindenki nagyon várta a szavazás eredményének bejelentését, azok, akik meghallották ezt a véletlenszerű zajszint-csökkenést, felnéztek, és abbahagyták a beszélgetést. Ez az össz zajszint további csökkenését vonta maga után, aminek eredményeként még több ember hagyta abba a beszélgetést. Pozitív visszacsatolás indult be és folytatódott meglehetősen gyorsan mindaddig, amíg teljes csend nem lett a teremben. Majd miután rájöttünk, hogy vaklárma volt, nevetés tört ki, amit a zajszint lassú emelkedése követett vissza, a korábbi szintjére.

A pozitív visszacsatolások közül a legfigyelemreméltóbbak és leglátványosabbak azok, amelyek valaminek a megszaladó emelkedését okozzák: egy atomrobbanás, egy osztályfőnök, amint éppen elveszti uralmát, egy kocsmai verekedés, az egymásra licitáló kirohanások az ENSZ-ben (az olvasó figyelmébe ajánlom azt az intelmet, amivel ezt a fejezetet kezdtem). A pozitív visszacsatolás jelentősége a nemzetközi ügyekben burkoltan elismeri az „„eszkaláció” zsargon kifejezést: amikor azt mondjuk, hogy a Közel-Kelet „lőporos hordó”, és amikor „válsággócokat” azonosítunk. A pozitív visszacsatolás eszméjének egyik legismertebb megfogalmazása Máté evangéliumában található: „Mert akinek van, annak adatik és bővelkedik; de akinek nincs, az is elvételik tőle, amije van.” Ez a fejezet a pozitív visszacsatolásról szól az evolúcióban. Vannak az élő szervezetekben olyan tulajdonságok, amelyek olybá tűnnek, mintha az evolúció valamilyen robbanásszerű, pozitív visszacsatolással hajtott, megszaladó folyamatának végtermékei volnának.

Kisebb mértékben az előző fejezet fegyverkezési versenye is ezt példázza, ám valóban látványos példáit a szexuális figyelemfelkeltés szerveiben találjuk.

Kedves Olvasóm, próbálja meggyőzni magát, ahogy engem próbáltak

hallgató koromban, hogy a páva legyezője földhözragadt funkcionális szerv, mint a fog vagy a vese, amelyet a természetes kiválasztódás épp csak azért alakított így, hogy a madár felcímkezésének haszonelvű feladatát elvégezze, egyértelműen megkülönböztesse más fajok egyedeitől. Soha nem győztek meg, s kétlem, hogy Ön is meggyőzhető volna. Számomra a páva legyezője a pozitív visszacsatolás félreérthetetlen jegye. Világos, hogy valamilyen szabályozatlan, labilis robbanás terméke, ami az evolúció során történt. Így gondolta Darwin a szexuális szelekcióról szóló elméletében, s így gondolta nyíltan és oly sok szóval kifejezve legnagyobb követője, R. A. Fisher. Rövid okfejtés után erre a következtetésre jut (*A természetes szelekció genetikai elmélete* című könyvében):

„A tollazat fejlesztése a hím részéről és a nemi preferencia iránta a nőstény részéről minden bizonnyal együtt haladt előre, és mindaddig, amíg kemény kontraszelekció nem vonja ellenőrzés alá, egyre fokozódó sebességgel halad is. Az ilyen ellenőrzés teljes hiányában könnyű belátni, hogy a fejlődés sebessége arányos a már korábban bekövetkezett fejlődéssel, s ennél fogva növekedni is fog, mégpedig exponenciálisan vagyis mértani haladvány szerint.”

Jellemző Fisherre, hogy amit ő „könnyen beláthatónak” talált, azt mások csak fél évszázad múltán értették meg teljesen. Nem vesződött annak az állításának a részletes kifejtésével, hogy a szexuálisan vonzó tollazat kifejlődése egyre fokozódó sebességgel haladhatott, exponenciálisan, robbanásszerűen. A biológusoknak vagy ötven évre volt szükségük, hogy utolérjék és végül is rekonstruálják teljes egészében azt a fajta matematikai okfejtést, amit Fisher bizonyára felhasznált vagy papíron, vagy a fejében ahhoz, hogy állítását saját maga számára bizonyítsa. Megpróbálom megmagyarázni nem matematikai nyelven ezeket a matematikai gondolatokat, amiket modern formában nagyrészt a fiatal amerikai matematikus-biológus, Russel Lande dolgozott ki. Bár én nem lennék annyira pesszimista, mint maga Fisher, aki 1930-as könyvének előszavában így ír: „Nincs az az erőfeszítés, amivel el tudnám érni, hogy könyvem könnyű olvasmány legyen”, de azért első könyvem egyik kedves szemleírójának szavait idézve: „Az olvasó jól teszi, ha fölveszi szellemi szárnyas szandálját”. Keményen meg kellett küzdenem azért, hogy megértsem ezeket a nehéz gondolatokat. Itt, tiltakozásai ellenére, köszönetet kell mondanom kollégámnak és korábbi tanítványomnak, Alan Grafennek, akinek saját szellemi szárnyas szandálja párját ritkította, de akiben megvolt az a még ritkább képesség, hogy le is tudta venni őket, és úgy tudott gondolkozni, hogy másoknak is meg tudja magyarázni gondolatait. Tanítása nélkül egyszerűen nem tudtam volna megírni ennek a fejezetnek a középső részét, s ez is az oka, hogy iránta való elismerésemet nem az előszóban, hanem itt fejezem ki.

Mielőtt belefognék ezekbe a bonyolult dolgokba, néhány szót mondanom kell a szexuális szelekció eszméjének eredetéről. Ez, mint oly sok minden ezen a területen, Charles Darwinnal kezdődött. Darwin, noha a fő hangsúlyt az életben maradásra és a létért való küzdelemre helyezte, felismerte, hogy

a létezés és az életben maradás csupán eszközök egy cél érdekében. Ez a cél a szaporodás. Egy fácán megérheti az érett öregkort, de ha nem szaporodik, nem adja tovább tulajdonságait. A kiválasztódás azoknak a tulajdonságoknak kedvez, amelyek egy állatot a szaporodásban sikeressé tesznek, s az életben maradás csupán része a szaporodásért folytatott küzdelemnek. A csata más részeiben a siker azoké lesz, akik a legvonzóbbak az ellenkező nem számára. Darwin látta, hogy ha egy hím fácán, páva vagy paradicsommadár akár az életét is veszélyeztető szexuális vonzerőre tesz szert, még mindig továbbadhatja nemileg vonzó tulajdonságait azáltal, hogy mielőtt elpusztulna, rendkívül sikeres az utódnemzésben. Rájött, hogy a páva legyezője bizonyára hátrány birtokosának, ami az életben maradást illeti, de fölvetette, hogy ezért valószínűleg bő kárpótlást jelent az a fokozott szexuális vonzerő, amit a hímnek nyújt. Minthogy nagyon szerette az analógiát a háziállattal, Darwin a páva tojóját a tenyésztő emberhez hasonlította, aki a háziállatok evolúciójának menetét az esztétikai szeszélyek felé tereli. Mi a tojót ahhoz az emberhez hasonlíthatnánk, aki a számítógépes biomorfokat esztétikai szempontok szerint választja ki.

Darwin egyszerűen adott tényként fogadta el a női szeszélyeket. Létük a szexuális szelekcióra vonatkozó elméletének axiómája volt, előzetes feltevés, s nem olyasmi, amit önmagában magyarázni kell. Részben ez okból a szexuális szelekció elmélete rossz hírbe keveredett egészen addig, amíg 1930-ban Fisher meg nem mentette. Sajnos sok biológus vagy nem ismerte, vagy félreértette Fishert. A Julian Huxley és mások által hangoztatott ellenvetés az volt, hogy a női szeszélyek nem szolgálhatnak egy valóban tudományos elmélet jogos alapjául. Ám Fisher megmentette a szexuális szelekció elméletét azáltal, hogy a nőstények preferenciáját a természetes szelekció épp oly jogos tárgyaként kezelte, mint a hímek farktollát. A nőstény preferenciája a nőstény idegrendszerének megnyilvánulása. A nőstény idegrendszere géneinek hatása alatt fejlődik ki, s ennél fogva tulajdonságait nagy valószínűséggel befolyásolták az elmúlt nemzedékeket érő szelekciós hatások. Míg mások úgy gondolták, hogy a hím ékességei statikus nősténypreferenciák hatása alatt fejlődnek, addig Fisher úgy vélte, a nőstények preferenciái dinamikusan lépést tartanak a hímek ékességeinek fejlődésével. Az olvasó most már talán kezdi sejteni, hogy ez miként fog összekapcsolódni a robbanásszerű pozitív visszacsatolás gondolatával.

Amikor nehéz elméleti elgondolásokat tárgyalunk, gyakran jó, ha szemünk előtt lebeg valamilyen konkrét példa a valóságos világból. Példaként az afrikai hosszúfarkú özvegymadár farkát fogom használni. Bármilyen, szexuálisan kisselektálódott tulajdonság megtenné, nekem pedig az a hőbortom, hogy a változatosság kedvéért kerüljem a páva farkát, amivel a szexuális szelekció tárgyalásakor mindenütt találkozunk. A hosszúfarkú özvegymadár himje karcsú, fekete madár, narancsszínű vállfoltokkal, mérete körülbelül az énekesrigónak felel meg, azzal a kivétellel, hogy párzási időszakban a fő faroktollai 45 cm hosszúak is lehetnek. Gyakori, hogy látványos

bemutató repülést végez Afrika szavannái fölött, köröket és hurkokat ír le, mint egy hosszú hirtetőtranszparenst maga után húzó repülőgép. Nem meglepő, hogy nedves időben olykor nem tud fölszállni. Egy ilyen hosszú farkat még akkor is nehéz hurcolni, ha száraz. Bennünket a hosszú fark evolúciójának magyarázata érdekel: feltevésünk szerint a fark kialakulása robbanásszerű evolúciós folyamat eredménye. Kiindulópontunk ezért egy hosszú fark nélküli madárős. Képzeljük el, hogy az ősfarok körülbelül 8 cm hosszúságú, nagyjából hatoda a mai hím farkhosszúságának. A magyarázandó evolúciós változás a fark hosszának hatszoros megnövekedése.

Nyilvánvaló tény, hogy bármit is mérjünk az állatokon, jöllehet a faj legtöbb tagja meglehetősen közel van az átlaghoz, némelyek egy kicsit átlag fölött, mások viszont egy kicsit átlag alatt vannak. Bizonyosak lehetünk benne, hogy az ősi özvegymadár farkhosszának volt egy bizonyos tartománya, némelyik egy kicsit hosszabb, némelyik pedig egy kicsit rövidebb volt az átlagos 8 cm-nél. Nyugodtan feltételezhetjük, hogy a fark hosszát nagyszámú gén szabja meg, egyenként mindegyiküknek kis hatása van, hatásai összegződnek, és kiegészítik az étrend és más környezeti változók hatásait az egyed tényleges farkhosszának kialakulásában. Poligénnek nevezzük a gének olyan nagy létszámú csoportját, amelyeknek hatásai összegződnek. Saját magunk legtöbb mérete, például magasságunk és tömegünk poligén hatás alatt alakul ki. A szexuális szelekciónak az a matematikai modellje, amelyhez szorosan tartom magam, nevezetesen Russell Lande modellje, poligénes modell.

Most figyelmünket a nőtények felé kell fordítanunk, arra, hogy miként választják párjukat. Talán a nemek iránti elfogultságnak tűnhet, ha feltételezzük, hogy a nőtények választják párjukat, és nem fordítva. Voltaképpen elméleti szempontból jó okunk van arra számítani, hogy ez így van (lásd *Az őnző gén*), és normális körülmények között a gyakorlatban ez csakugyan igaz is. A mai hosszúfarkú özvegymadár hímjei úgy féltucat nőtényből álló háremet vonzanak. Ez azt jelenti, hogy a népességben fölös számban vannak olyan hímek, amelyek nem szaporodnak. Ezért a nőtényeknek nem okoz nehézséget a párkeresés, s így válogatóságak lehetnek. A hím tehát sokat nyerhet azáltal, ha vonzó a nőtény számára. A nőténynek ezzel szemben nem sok előnye származik abból, ha vonzó a hímek számára, mivel mindenképpen kapós lesz.

Igy, miután elfogadtuk azt a feltevést, hogy a nőtények választanak, megteesszük azt a döntő lépést, amivel Fisher zavarba hozta Darwin bírálóit. Nem csupán elfogadjuk, hogy a nőtényeknek szeszélyeik vannak, hanem a preferenciáikat épp olyan genetikai hatás alatt álló változónak tekintjük, mint bármi egyebet. A nőtény preferenciája mennyiségi változó, s így föltételezhetjük, hogy ez is poligének irányítása alatt áll, pontosan ugyanolyan módon, ahogyan maga a hím farkának hossza. Ezek a poligének a nőtény agyának legkülönbözőbb részeire hathatnak, sőt akár a szemükre is; bármire, ami befolyással lehet a nőtény preferenciájára. A nőtény

preferenciája kétségkívül a hímnek sok testrészét figyelembe veszi, váll-foltjának színét, csőrének alakját és így tovább; minket azonban történetesen a hím farokhosszúságának evolúciója érdekel, s ennél fogva a különböző hosszúságú farkak iránti nősténypreferenciák foglalkoztatnak. A nőstény preferenciáját ezért pontosan ugyanabban az egységben mérhetjük, mint a hím farokhosszát: centiméterben. A poligének gondoskodnak róla, hogy legyenek olyan nőstények, amelyek az átlagnál hosszabb hím farkakhoz vonzódnak, mások amelyek az átlagnál rövidebb farkakat kedvelik, és megint mások, amelyek az átlag körüli méretet részesítik előnyben.

És most jön az egész elmélet egyik kulcsfontosságú felismerése. Noha a nősténypreferencia génjei csak a nőstény viselkedésében *fejeződnek ki*, azért jelen vannak a hímek testében is. És ugyanilyen alapon a hím farokhosszúságának génjei jelen vannak a nőstények testében is, akár kifejeződnek a nőstényekben, akár nem. A nem kifejeződő gének elgondolása nem valami bonyolult. Ha egy férfiban megtalálhatók a hosszú pénisz génjei, akkor épp akkora valószínűséggel adja ezt tovább a lányának, mint a fiának. A fiában ezek a gének kifejezésre juthatnak, a lányában természetesen nem, mivel utóbbinak egyáltalán nincs pénisz. Ha azonban a férfinak végül is fiú unokái lesznek, akkor lányának fiai ugyanolyan valószínűséggel öröklik hosszú péniszét, mint fiának fiai. Egy test hordozhat géneket anélkül, hogy azok kifejezésre jutnának. Fisher és Lande ugyanígy feltételezik, hogy a nőstény preferenciájának génjeit *magukban hordozza* a hímek teste, annak ellenére, hogy csupán a nőstények testében *jutnak kifejezésre*. A hím farkak génjeit pedig hordozzák a nőstények, még ha azok nem is fejeződnek ki bennük.

Tegyük fel, hogy van egy különleges mikroszkópunk, amivel bepillantunk egy madár sejtjeibe és megvizsgálhatjuk génjeit. Vegyünk egy hímet, amelynek történetesen az átlagnál hosszabb farka van, és nézzük meg a sejtjeiben a génjeit. Ha először a farokhossz génjeit nézzük, akkor nem okoz meglepetést az a felfedezés, hogy ezek hosszú farkat előidéző gének: ez nyilvánvaló, hiszen *csakugyan* hosszú farka van. Vizsgáljuk most meg a *farokpreferencia* génjeit. Itt kívülről nem kapunk semmi támpontot, mivel az ilyen gének csak nőstényekben fejeződnek ki. Most a mikroszkópunkkal kell vizsgálódnunk. Mit látnánk? Olyan géneket látnánk, amelyektől a nőstények a hosszú farkat kedvelik jobban. És fordítva, ha olyan hímbe pillantunk bele, amelynek a valóságban rövid a farka, akkor benne olyan géneket látnánk, amelyektől a nőstények rövid farkakat kedvelnek jobban. Ez érvelésünknek kulcsfontosságú pontja. Indoklása a következő.

Ha én egy hosszú farkú hím vagyok, akkor az apám nagy valószínűséggel szintén hosszú farkú. Ez csupán közönséges öröklődés. De ugyancsak azért, mert anyám apámat választotta párul, anyám nagy valószínűséggel a hosszú farkú hímekeket kedveli. Ezért ha apámtól a hosszú farkat előidéző géneket örökölttem, akkor az is valószínű, hogy anyámtól a hosszú farok preferálását közvetítő géneket örökölttem. Ugyanezzel a gondolatmenettel, ha rövid

farkat hordozó géneket örökölt Ön, akkor az a valószínű, hogy olyan géneket is örökölt, amelyek hatására a nőtények a rövid farkat kedvelik jobban.

Ugyanezt a gondolatmenetet követhetjük nőtények esetében is. Ha olyan nőtény vagyok, amely a hosszú farkú hímeket részesíti előnyben, akkor az a valószínű, hogy anyám is a hosszú farkú hímeket kedvelte jobban. Ezért annak van nagyobb esélye, hogy apámnak hosszú farka volt, hiszen anyám választotta. Ezért ha a hosszú fark kedvelését hordozó géneket örökölttem, akkor az a valószínű, hogy a hosszú farkat előidéző géneket is örökölttem, függetlenül attól, hogy ezek ténylegesen kifejezésre jutnak-e női testemben. Ha pedig rövid fark preferálását hordozó géneket örökölttem, akkor arra van nagy esélyem, hogy rövid farkat előidéző géneket is örökölttem. Az általános következtetés ez. Az akármelyik nemhez tartozó egyed valószínűleg rendelkezik *mind* azokkal a génekkel, amelyek a hímeknél egy bizonyos tulajdonság *megjelenését* idézik elő, *mind* olyan génekkel, amelyek hatására a nőtények ugyanezen tulajdonságot *preferálják*, bármi legyen is ez a tulajdonság.

Így a hím tulajdonságokat hordozó gének, valamint azok a gének, amelyek hatására a nőtények ezeket a tulajdonságokat részesítik előnyben, nem véletlenszerűen keverednek a populációban, hanem többnyire *együtt* keverednek. Ez az „együttjárás”, amit a kapcsoltsági egyensúlyhiány ijesztő szakkifejezéssel illetnek, furcsa játékokat űz a matematikai genetikusok egyenleteivel. Különös és csodálatos következményei vannak, amelyek ha Fishernek és Landénak igazuk van, a gyakorlatban a páva- és az özvegymadárfarkak, valamint a vonzerők egy sor más szervének robbanásszerű evolúciójához vezetnek. Ezek a következmények csak matematikailag bizonyíthatók, azt azonban szavakban is el lehet mondani, hogy miben állnak, és megpróbálunk ízelítőt adni a matematikai okfejtésből nem a matematika nyelvén. De azért továbbra is szükségünk lesz szellemi szárnyas szándalunkra, jöllehet a hegymászó bakancs talán jobb analógia. Az érvelés minden lépése eléggé egyszerű, ám a lépcsők hosszú sora vezet föl a megértés hegyére, s ha bármelyik korábbi lépcsőt elvétjük, akkor sajnos nem tudunk továbbmenni.

Eddig már felismertük, hogy lehetséges a nőtények preferenciáinak teljes köre, a hosszú farkú hímeket kedvelő nőtényektől egészen az ellenkező ízlésig, a rövid farkú hímek kedveléséig. Ám, ha ténylegesen közvéleménykutatást végeznénk egy adott populáció nőtényeinek körében, akkor valószínűleg azt tapasztalnánk, hogy a nőtények többségének azonos az ízlése a hímek irányában. A populációban a nőtények ízlésének *tartományát* ugyanabban az egységben – centiméterben – fejezhetjük ki, mint amelyben a hímek farokhosszúságának tartományát. S a nőtények preferenciáinak *átlagát* is ugyanígy centiméterben tudjuk kifejezni. Kiderülhetne, hogy az átlagos női preferencia pontosan megegyezik az átlagos hím farokhosszúsággal, mindkét esetben 8 cm-rel. Ebben az esetben a nőtény választása nem jelentene evolúciós erőt, amely változtatja a hímek farokhosszúságát. Vagy

az is kiderülhetne, hogy az átlagos női preferencia a ténylegesen létező átlagfaroknál hosszabbat kedvel, mondjuk nem 8, hanem 10 cm-est. E percben hagyjuk még nyitva, hogy miért állhat elő ilyen eltérés, egyszerűen csak fogadjuk el, s tegyük föl a következő nyilvánvaló kérdést. Ha a legtöbb nőstény a 10 cm-es farkú hímeket kedveli, akkor a hímek többségének miért van a valóságban 8 cm-es farka? A nőstény nemi szelekció hatására miért nem tolódik el a népeségben az átlagos farokhosszúság a 10 cm felé? Hogyan lehet 2 cm eltérés az átlagosan preferált farokhosszúság, és a tényleges farokhosszúság között?

A válasz az, hogy a nőstény ízlése nem az egyedüli szelekciós erő, ami a hím farokhosszúságát befolyásolja. A faroknak fontos szerepe van a repülésben, s ha a farok túlságosan hosszú vagy túlságosan rövid, akkor csökkenti a repülés hatékonyságát. Ezenkívül a hosszú farok viselése, sőt már eleve a kifejlesztése is több energiát emészt. Könnyen lehet, hogy a 10 cm-es farkú hímek magukhoz vonzzák a nőstény madarakat, ennek ára azonban a kevésbé hatékony repülés, a nagyobb energiaköltségek és a ragadozókkal szembeni fokozott esendőség. Ezt azzal fejezhetjük ki, hogy a farok hosszúságának van egy *haszonelvű optimuma*, ami eltér a nemi kiválasztódás optimumától: ez az eszményi farokhosszúság a közönséges hasznosság szempontjából; ez az a farokhosszúság, amely minden szempontból ideális, eltekintve a nőstényekre gyakorolt vonzerőtől.

Azt kellene tehát várnunk, hogy a hímek farokhosszúságának tényleges átlaga, hipotetikus példánkban a 8 cm, megegyezik a haszonelvű optimummal? Nem, arra kell számítanunk, hogy a haszonelvű optimum ennél kevesebb lesz, mondjuk 6 cm. Ennek az az oka, hogy a tényleges 8 cm-es átlagos farokhosszúság kompromisszum eredménye a haszonelvű szelekció, amely a rövidebb faroknak kedvez, és a szexuális szelekció között, amely a hosszú farkat részesíti előnyben. Feltételezhetjük, hogy ha nem volna szükség a nőstények csábítására, akkor az átlagos farokhosszúság 6 cm-re zsugorodna. Ha nem kellene aggódni a repülési hatékonyság és az energiaköltségek miatt, akkor az átlagos farokhosszúság a 10 cm felé közelítene. A tényleges, a 8 cm-es átlag kompromisszum.

Az egyik oldalról nyitva marad az a kérdés, hogy a nőstények *miért* egyeznek bele egy olyan farok preferálásába, amely eltér a haszonelvű optimumtól. Első pillantásra már az ötlet is butaságnak tűnik. Azoknak a divatozó hölgyeknek, akiknek ízlése a jó konstrukciós kritériumok szerint a túlságosan hosszú faroknak kedvez, rosszul tervezett, alacsony hatékonyságú, esetlenül repülő fiai lesznek. Az a mutáns nőstény, amelyeknek ízlése történetesen nem követi a divatot, és jobban szereti a rövid farkú hímeket, különösen az a mutáns nőstény, amelynek farokbéli ízlése véletlenül egybeesik a haszonelvű optimummal, jól repülő, hatékony fiakat fog nemzeni, amelyek minden bizonnyal legyőzik a versenyben divatozó riválisaik fiait. Ez a bökkenő. Burkoltan benne van a „divat” hasonlatomban. Lehet, hogy a mutáns nőstény fiai jó repülők lesznek, de nem fogják vonzónak találni

őket a populáció nőstényei. Csupán a nőstények kisebbségét vonzzák majd, a divattagadó nőstényeket; márpedig kisebbségi nőstényeket definíció szerint nehezebb találni, mint többségieket, azon egyszerű oknál fogva, hogy ritkábban találhatók a Földön. Egy olyan társadalomban, ahol csupán minden hatodik hím párosodik, és a szerencsés hímeknek nagy háremeik vannak, óriási előnyökkel jár, ha elvtelenül kielégítik a nőstények többségének ízlését, s ezek az előnyök jócskán felülmúlják az energiaköltségek és a repülési hatékonyság haszonelvűbb szempontjait.

Ám az olvasó még így is felhánytorgathatja, hogy az egész okfejtés egy önkényes feltevésen alapszik. Ha feltételezzük, hogy a legtöbb nőstény a nem haszonelvű hosszú farkat kedveli, akkor – az olvasó egyet fog érteni – minden más ebből már következik. No de *miért* alakult ki már eleve ez a többségi nőstény ízlés? A nőstények többsége miért nem olyan farkakat preferál, amelyek *kisebbség* a haszonelvű optimumnál vagy pontosan ugyanolyan hosszúságúak, mint a haszonelvű optimum? Miért ne eshetnék egybe a divat a hasznossággal? A válasz az, hogy mindezek közül bármelyik meg is történhet, és nagyon sok fajban valószínűleg meg is történt. A hosszú farkat preferáló nőstények hipotetikus esete csakugyan önkényes volt. De történetesen *bármilyen* legyen a többségi nőstény ízlés, és nem számít, hogy mennyire önkényes, mindenképpen az lett volna a tendencia, hogy a szelekció ezt a többséget fenntartsa, vagy bizonyos körülmények között akár fokozza is – a túlzásokig. Okfejtésemnek ez az a pontja, ahol a matematikai bizonyítás hiánya már csakugyan számottevővé válik. Arra buzdíthatom az olvasót, hogy fogadja egyszerűen el, Lande matematikai levezetése ezt bebizonyítja, és hagyjuk is ennyiben. Lehet, hogy ez a megoldás volna tölem a legbölcsebb, de még egy próbát teszek arra, hogy megmagyarázzam az elgondolás egy részét szavakkal.

A kulcs az érveléshez abban a korábbi megállapításunkban rejlik, amelyet a „kapcsoltsági egyensúlyhiányról”, a gének „együttjárásáról” tettünk, mégpedig egy adott – bármilyen – farokhosszúságot előidéző és a nekik megfelelő ugyanezen farokhosszúság preferálásáért felelős gének együttjárásáról. Az *együttjárási tényezőt* mérhető számként kell elképzelni. Ha az együttjárási tényező nagyon magas, akkor ez azt jelenti, hogy egy egyed farokhosszúságát meghatározó gének ismerete lehetővé teszi számunkra annak nagyon pontos megjóslását, hogy milyenek a preferencia génjei, és viszont. És megfordítva, ha az együttjárási tényező alacsony, akkor ez azt jelenti, hogy az egyén génjeinek ismerete a két részleg egyikében – a preferenciában vagy a farokhosszúságban – csak homályos utalással szolgál a másik részleg génjeire.

Az együttjárási tényező nagyságát olyasmik befolyásolják, mint a nőstények preferenciájának ereje: mekkora türelmet tanúsítanak a szerintük tökéletlen hímek iránt; a hímek farokhosszáinak változékonyságát milyen mértékben irányítják gének, és milyen mértékben környezeti tényezők stb. Ha mindezen hatások eredményeként az együttjárási tényező – a farokhossz

génjeit és a farokhossz preferencia génjeit összekötő kapocs szorossága – nagyon erős, akkor a következő következtetésre juthatunk. Valahányszor a hímet hosszú farka miatt választják, nem csupán a hosszú fark génjeit választják ki. Az együttjárás miatt egyúttal a hosszú fark *preferenciájának génjeit* is kiválasztják. Ez azt jelenti, hogy azok a gének, amelyek egy adott hosszúságú farkú him kiválasztására készítetik a nőtényt, tulajdonképpen *saját maguk másolatait választják*. Ez a lényegi eleme az önmegerősítő folyamatnak: megvan a maga önfenntartó ereje. Ha az evolúció egy adott irányban elindult, akkor ez önmagában is arra készítheti, hogy kitartson ezen irány mellett.

Ezt egy másik módon is megfogalmazhatjuk, s ez a zöldszakáll-hatás néven ismert. A zöldszakáll-hatás biológuskutatók amolyan vice. Teljes mértékben hipotézis, de azért tanulságos. Eredetileg W. D. Hamilton fontos elméletének, a rokonszelekciónak az alapelvét magyarázandó vetették fel, amit hosszabban tárgyaltam *Az önző génben*. Hamilton, aki ma kollégám Oxfordban, kimutatta, hogy a természetes szelekció kedvez a közeli rokonok iránt önzetlenül viselkedő géneknek, egyszerűen azért, mert ugyan-ezen gének másolatai nagy valószínűséggel fordulnak elő a rokoni testekben. A zöldszakáll-hipotézis ugyanezt általánosabban, jöllehet kevésbé gyakorlatiasan fogalmazza meg. A rokonság ezen érvelés szerint csupán egyik lehetséges módja annak, ahogyan a gének azonosítani tudják saját maguk másolatait más testekben. Elméletileg egy gén közvetlenebb módszerekkel is lokalizálhatja önmaga másolatait. Tegyük fel, olyan gén keletkezik, amelyeknek a következő két hatása van (a két- vagy többhatású gének gyakoriak): birtokosait valamilyen szembetűnő dologgal, például zöld szakállal látja el, s egyúttal agyukat úgy befolyásolja, hogy önzetlen viselkedést tanúsítanak a zöld szakállú egyedek iránt. Meglehetősen valószínűtlen véletlen, valljuk be, de ha egyszer mégis megjelenik, akkor evolúciós következménye világos. A zöld szakáll iránti önzetlenség génjének pontosan azon okok miatt kedvez a természetes kiválasztódás, mint az utódok vagy testvérek iránti önzetlenség génjeinek. Valahányszor egy zöld szakállú egyed segít a másikon, ezt a megkülönböztető önzetlenséget tanúsító gént segíti önmaga másolásában. A zöld szakállú gén terjedése automatikus és kikerülhetetlen volna.

Senki sem hiszi komolyan, még én sem, hogy a zöldszakáll-hatás ebben az igen egyszerűsített formájában valahol is előfordul a természetben. A természetben a gének önmaguk másolatai javára kevésbé specifikus, de kézenfekvőbb címkékkel különböztetnek meg, mint amilyen a zöld szakáll. A rokonság éppen ilyen címke. A „testvér” a gyakorlatban valami olyasmi, mint „az, aki pont abban a fészekben kelt ki, amelyet éppen elhagytam”, statisztikai címke. Annak a génnek, amely az ilyen címkét hordozó egyedek iránt önzetlen viselkedésre készíteti az egyéneket, jó statisztikai esélye van önmaga másolatainak megsegítésére: a testvéreknek ugyanis jó statisztikai esélyük van a közös génekre. Hamilton rokonszelekciós elmélete segít a zöld

szakáll típusú hatást ésszerűbbé tenni. Ne felejtsük el egyébként, hogy szó sincs arról: a génnek „akarják” segíteni önmaguk másolatait. Arról van csupán szó, hogy az a gén, amelynek történetesen *hatása*, hogy segíti önmaga másolatait, akarva nem akarva nagyobb számúvá válik a népességben.

A rokonság tehát olyan módként fogható fel, ahogyan a zöldszakáll-hatás ésszerűvé tehető. A szexuális szelekció Fisher-féle elmélete a zöldszakáll-hatás ésszerűvé tételének egy további módjaként magyarázható meg. Amikor egy populáció nőstényeiben erős preferencia él bizonyos hím tulajdonságok iránt, akkor a már végigvitt okfejtésünk szerint ebből következik, hogy az egyes hím testek jobbra olyan gének másolatait tartalmazzák, amelyek hatására a nőstények az ő tulajdonságaikat részesítik előnyben. Ha egy hím hosszú farkat örökölt az apjától, akkor nagy a valószínűsége, hogy anyjától is örökölte azokat a géneket, amelyek az anyát apja hosszú farkának választására indították. Ha rövid farka van, akkor nagy a valószínűsége, hogy a nőstényeket rövid fark preferálására készítető géneket tartalmaz. Amikor tehát egy nőstény a hím kiválasztását gyakorolja, akármilyen irányba is kedvezzen, az a valószínű, hogy a választását befolyásoló gének *önmaguk másolatainak választására készítetik* a hímeiben. Önmaguk másolatait a hím hosszú farkát mint címkét használva választják, ami bonyolultabb módja annak, ahogyan a hipotetikus zöldszakáll-gén a zöld szakállt használja címkeként.

Ha a populációban a nőstények fele a hosszú farkú hímeiket, a másik fele a rövid farkú hímeiket részesíti előnyben, akkor a nőstények választását befolyásoló gének továbbra is önmaguk másolatait választják, de általánosságban nem kedveznének egyik vagy másik faroktípusnak. A populáció kettéválásának tendenciáját tapasztalnánk – hosszú farkú hosszú farkút preferáló frakcióra és rövid farkú rövid farkút preferáló frakcióra. Ám a nőstények véleményének ilyen kettéhasadása labilis helyzethez vezet. Abban a pillanatban, hogy az egyik típusú nőstényekből *bármilyen csekély* többség kezd kialakulni, ezt a többséget a rákövetkező nemzedékek megerősítik. Ennek az az oka, hogy a kisebbségi csoport nőstényei által kedvelt hímek nehezebben találnának párt; s a kisebbségi csoport nőstényeinek olyan fiai lennének, amelyeknek viszonylag nehezebb lenne párt találniuk, s így a kisebbségi nőstényeknek kevesebb unokájuk lenne. Amikor kicsiny kisebbségek még kisebbséggé válnak, és kicsiny többségek nagyobb többségekké, akkor kezünkben van a pozitív visszacsatolás receptje: „Mert akinek van, annak adatik és bővelkedik; de akinek nincs, az is elvételik tőle, amije van”. A labilis egyensúlyban az önkényes, véletlenszerű kezdemények önmegerősítők. Ugyanígy, amikor átvágjuk a fa törzsét, bizonytalanok lehetünk, hogy vajon észak vagy dél felé fog-e dőlni. Egy darabig egyensúlyban marad, de ha már egyik vagy másik irányba egyszer dőlni kezdett, semmi sem hozhatja vissza.

Kössük be még szorosabban hegymászó bakancsunkat, és készüljünk föl egy újabb kapaszkodóék bealapulására. Emlékeztetőül, a nőstények általi

szelekció a hímek farkát az egyik irányba, míg a „haszonelvű” kiválasztódás a másik irányba húzza (a „húzást” természetesen evolúciós értelemben használjuk), míg a tényleges átlagos farokhosszúság a kettő kompromisszum. Most már fel kell ismernünk a „választási eltérésnek” nevezett mennyiséget. Ez a népességben a hímek farokhosszúsága tényleges átlagának, és annak az eszményi farokhosszúságnak a különbsége, amit az átlagos nőstény a populációban valójában szeretne. A választási eltérés mértékegységei önkényesek, ugyanúgy, ahogy a hőmérséklet Fahrenheit- és Celsius-skálái is önkényesek. Ugyanúgy, ahogy a Celsius-skála azt találja kényelmesnek, hogy nullapontját a víz fagyáspontjában állapítsa meg, számunkra az alkalmas nullapont az lesz, ahol a szexuális szelekció húzóereje pontosan kiegyensúlyozza a haszonelvű szelekció ezzel ellentétes húzóerejét. Más szóval a nulla választási eltérés azt jelenti, hogy az evolúciós változás leáll, mivel a kiválasztás két egymással ellentétes típusa pontosan kioltja egymást.

Világos, hogy mennél nagyobb a választási eltérés, annál erőteljesebb a nőstények által kifejtett evolúciós húzás a haszonelvű természetes szelekció ezzel ellentétesen ható húzásával szemben. De minket nem az érdekel, hogy bármely adott időpontban mekkora a választási eltérés abszolút értéke, hanem az, hogy miként *változik* a választási eltérés az egymást követő nemzedékek során. Egy adott választási eltérés eredményeként a farkak hosszabbodnak, s ugyanakkor (emlékezzünk rá, hogy a hosszú fark választásáért felelős gének a hosszú farokért felelős génekkel összhangban választódnak ki) a nőstények által eszményinek tartott farkok is hosszabbodik. Egy nemzedéknyi ilyen kettős szelekció után mind az átlagos farokhosszúság, mind az átlagos preferált farokhosszúság megnőtt, de vajon melyik növekedett inkább? Így is fel lehet tenni ezt a kérdést: mi történik a választási eltéréssel?

A választási eltérés azonos is maradhatott volna (ha az átlagos farokhosszúság és az átlagos preferált farokhosszúság egyaránt ugyanolyan mértékben növekedett volna). Csökkenhetett volna (ha az átlagos farokhosszúság jobban növekedett volna, mint a preferált farokhosszúság) vagy – végül – nagyobbá is válhatott volna (ha az átlagos farokhosszúság növekedett volna valamelyest, de az átlagos preferált farokhosszúság még inkább megnőtt volna). Az olvasó talán már kezdi sejteni, hogy ha a választási eltérés csökken, ahogy a fark növekszik, akkor a farokhosszúság stabil egyensúlyi hossz felé fejlődik. Ám ha a választási eltérés a fark növekedésével egyre *nagyobbá* válik, akkor a jövő nemzedékek farka elméletileg egyre növekvő sebességgel nő. Nem kétséges, hogy 1930 előtt Fisher ezt számította ki, noha szűkszavú közleményét akkoriban mások nem értették meg világosan.

Vegyük először azt az esetet, ahol a választási eltérés egyre csökken a nemzedékek során. Végül is olyan kicsivé válik, hogy a nőstények preferenciájának húzóerejét pontosan kiegyensúlyozza a haszonelvű szelekció ellenirányú húzóereje. Az evolúciós változás ekkor leáll, s azt mondjuk, hogy a rendszer egyensúlyi állapotba jutott. Lande ezzel kapcsolatban azt az érde-

kes dolgot bizonyította be, hogy – legalábbis bizonyos feltételek között – nem csupán egyetlen egyensúlyi pont van, hanem sok. (Elméletileg egy gráf egyenes vonalai mentén elrendezett végtelen számú pont van, ez azonban már matematika!) Nem csupán egy egyensúlyi pont van, hanem sok: bármely egyik irányba húzó haszonelvű szelekciós erőhöz kialakul egy nőstény preferenciaerő, ami addig fejlődik, amíg el nem éri a pontos egyensúlyt.

Ha tehát olyanok a feltételek, hogy a választási eltérés a nemzedékek során csökken, a populáció a „legközelebbi” egyensúlyi pontnál jut nyugvóponttra. Itt az egyik irányba húzó haszonelvű szelekciót pontosan ellensúlyozza a másik irányba húzó nőstény általi szelekció, és a hímek farka, tekintet nélkül méretére, megtartja hosszúságát. Az olvasó talán felismeri, hogy itt negatív visszacsatolási rendszerrel van dolgunk, ám egy kissé különös fajta negatív visszacsatolási rendszer ez. Egy negatív visszacsatolási rendszert mindig felismerhetünk arról, hogy mi történik, ha megzavarjuk eszményi nyugvópontját. Ha például egy szoba hőmérsékletét megzavarjuk azáltal, hogy kinyitjuk az ablakot, akkor a termosztát azzal válaszol, hogy ennek ellensúlyozására bekapcsolja a fűtést.

Hogyan lehetne a szexuális szelekció rendszerét felborítani? Ne felejtsük el, hogy itt az evolúció időléptékében gondolkodunk, ezért nehéz kísérleteznünk – ami egyenértékű volna az ablak kinyitásával – és még megérni az eredményeket. Nem kétséges, hogy a természetben a rendszer gyakran felborul, például a hímek számának spontán, véletlenszerű ingadozása miatt, amit szerencsés vagy szerencsétlen véletlen idéz elő. Amikor ez bekövetkezik, az eddig tárgyalt körülmények fennállása esetén a haszonelvű szelekció és a szexuális szelekció kombinációja a népességet visszaviszi a legközelebbi egyensúlyi helyzetbe. Ez valószínűleg *nem* ugyanaz az egyensúlyi pont lesz, mint amelyből kibillent, hanem az egyensúlyi pontok vonala mentén egy kicsit magasabban vagy alacsonyabban levő pont. Így az idő múlásával a populáció sodródhat följebb vagy lejjebb az egyensúlyi pontok vonalán. A felfelé sodródás azt jelenti, hogy a farkak meghosszabbodnak – elméletileg nincs határa hosszúságuknak. A lefelé sodródás azt jelenti, hogy a farkak kurtábbá válnak – elméletileg ez egészen a nulláig is terjedhet.

A termosztát analógiáját gyakran használják az egyensúlyi pont elvének magyarázatára. Ezt az analógiát továbbfejleszthetjük, hogy megmagyarázzuk az egyensúlyok *sorának* bonyolultabb gondolatát. Tegyük fel, hogy egy helyiségnek van fűtőberendezése is és hűtőberendezése is, és mindkettőnek megvan a maga termosztátja. Mindkét termosztát úgy van beállítva, hogy a szoba hőmérsékletét egy rögzített értéken, mondjuk 20 °C-on tartsa. Ha a hőmérséklet 20 °C alá esik, akkor a fűtőberendezés bekapcsolja, a hűtő pedig kikapcsolja magát. Ha a hőmérséklet 20 °C fölé emelkedik, akkor a hűtő kapcsolódik be és a fűtő kapcsolódik ki. Az özelegymadár farkhosszá-
nak nem a hőmérséklet az analógja (ami megközelítőleg a 20 °C-os állandó értéken marad), hanem az összes elektromosáram-fogyasztás. A lényeg az, hogy számtalan különböző módon lehet elérni a kívánt hőmérsékletet. El

lehet úgy is érni, hogy mindkét berendezés nagy erővel dolgozik, a fűtőberendezés meleg levegőt fűj, a hűtő pedig mindent elkövet, hogy semlegesítse a hőt. Vagy elérhető úgy is, hogy a fűtőberendezés egy kicsivel kevesebb meleget bocsát ki, a hűtő pedig ennek megfelelően kevésbé igyekszik semlegesíteni. Vagy pedig elérhető úgy is, hogy mindkét berendezés alig-alig dolgozik. Világos, hogy a villanyszámla szempontjából az utóbbi megoldás a legkíváncsabb, ami azonban a 20 °C-os rögzített hőmérséklet fönntartásának célját illeti, a működési intenzitások hosszú sorának minden egyes pontjáról elmondhatjuk, hogy egyformán kielégítő. Egyensúlyi pontok *sorával* van dolgunk, és nem egyetlen ponttal. A rendszer beállításának részleteitől, a rendszer késési idejétől és a mérnököket foglalkoztató ilyen dolgoktól függően elméletileg lehetséges, hogy a helyiség áramfogyasztási szintje egyensúlyi pontok vonalán föl vagy le tolódjék, miközben a hőmérséklet állandó marad. Ha a terem hőmérséklete egy kicsivel 20 °C alá süllyed, akkor vissza fog térni az egyensúlyi állapotba, de nem szükségképpen a fűtő- és a hűtőberendezések ugyanazon munkaintenzitása mellett. Visszatérhet más pontba is az egyensúlyi vonal mentén.

Valóságos gyakorlati mérnöki szempontból meglehetősen nehéz volna olyan helyiséget tervezni, ahol valóságos egyensúlyvonal létezhetne. A gyakorlatban a vonal valószínűleg egy pontba zsugorodik össze. Russell Lande okfejtése a szexuális szelekció egyensúlyi vonaláról ugyancsak nyugodhat olyan feltevéseken, amelyek a természetben esetleg nem igazak. Például feltételezi az új mutációkkal való egyenletes ellátottságot. Feltételezi, hogy a nőtény választási aktusa teljesen költségmentes. Ha ez a feltevés helytelennek bizonyul, ami könnyen lehet, akkor az egyensúlyi vonal egyetlen egyensúlyi pontba zsugorodik össze. Akárhogy is van, eddig csupán azt az esetet tárgyaltuk, ahol a választási eltérés a szelekció egymást követő nemzedékei során *kisebb* lesz. Más körülmények között a választási eltérés válhat nagyobbá is.

Már korábban tárgyaltuk ezt a dolgot, úgyhogy emlékeztessük most magunkat, mit is jelent. Van egy populációnk, amelyben a hímek valamilyen tulajdonság evolúcióján mennek át, például az özvegymadaraknál a farokhosszúságén, ahol a nőtények preferenciája a farok hosszabbodásához vezet, a haszonelvű szelekció pedig a rövidüléséhez. Hogy a hosszabb farok kifejlődésének irányába valamilyen erő hat, annak az az oka, hogy amikor egy nőtény általa kedvelt fajta hímet választ, akkor a gének nem véletlenszerű kapcsolódása miatt éppen azoknak a géneknek a másolatait választja, amelyek őt a választásra készítették. Így a következő nemzedékben nemcsak a hímeknek lesz többnyire hosszabb farkuk, hanem a nőtényekben is erősebb lesz a hajlam a hosszú farkak választása iránt. Nem világos, hogy e két növekvő folyamat közül melyiknek lesz nagyobb a sebessége nemzedékről nemzedékre. Azt az esetet már szemügyre vettük, amikor a farokhosszúság nemzedékenként gyorsabban növekszik, mint a preferencia. Most vizsgáljuk meg azt a másik lehetséges esetet, ahol a preferencia nemzedékenként még

a farkhosszúságnál is nagyobb sebességgel növekszik. Más szóval most arról az esetről lesz szó, ahol a választási eltérés a nemzedékek során nagyobb lesz és nem kisebb, mint az előző bekezdésekben.

Itt az elméleti következmények még az előzőnél is bizarrabbak. Negatív visszacsatolás helyett pozitívvá van dolgunk. A nemzedékek során a farkak meghosszabbodnak, ám a nőstények vágya a hosszú farkak iránt még nagyobb sebességgel növekszik. Ez azt jelenti, hogy elméletileg a farkak még hosszabbra nőnek, mégpedig a nemzedékek során egyre gyorsuló ütemben. Elméletileg a farkak azután is tovább nőnek, hogy már a 10 mérföldet is meghaladták. A gyakorlatban természetesen a játékszabályok jóval hamarabb megváltoznak, mint hogy ezeket az abszurd hosszúságokat elérnék, éppúgy, ahogy a fordított Watt-vezérlésű gőzgépünk a *valóságban* nem gyorsulna másodpercenkénti milliószoros fordulatra. De jóllehet matematikai modellünk következtetéseit valamelyest föl kell hígítanunk, amikor a szélsőségekre kerül sor, a következtetések nagyon is állhatnak a gyakorlatilag ésszerű feltételek tartományában.

Most már, 50 évvel később értjük, mire gondolt Fisher, amikor merészen kijelentette: „Könnyű belátni, hogy a fejlődés sebessége arányos lesz a már eddig megtett fejlődéssel, ami ezért az idő során exponenciálisan, vagyis mértani haladvány szerint fog növekedni.” Indoklása egyértelműen megegyezett Lande-ével, amikor azt mondta: „Az ilyen folyamat által érintett két tulajdonságnak, nevezetesen a tollazat kifejlődésének a hímnél és az ilyen fejlemények iránti nemi preferenciának a nősténynél tehát együtt kell fejlődnie, s mindaddig, amíg a folyamatot jelentős kontraszelekció nem vonja ellenőrzése alá, egyre fokozódó sebességgel fog haladni.”

Az a tény, hogy matematikai okfejtéssel Fisher és Lande is ugyanarra az izgalmas következtetésre jutott, nem jelenti, hogy elméletük helyesen tükrözi azt, ami a természetben folyik. Lehetséges, hogy – miként a Cambridge Egyetem genetikus, Peter O'Donald, a szexuális szelekció elméletének egyik vezető szaktekintélye mondta – Lande modelljének megszaladó tulajdonsága „be van építve kiinduló feltevéseibe úgy, hogy meglehetősen unalmas módon óhatatlanul ennek kell kijönni a matematikai okfejtés másik végén”. Néhány elméleti szakember, köztük Alan Grafen és W. D. Hamilton, az elmélet alternatív változatait részesítik előnyben, amelyekben a nőstény választásának csakisugyan előnyös hatása van az ivadékára, mégpedig a haszonelvű eugenikus értelemben. Az általuk együttesen kidolgozott elmélet szerint a nőstény madarak diagnosztaként működnek, és azokat a hímeket választják ki, amelyeket a legkevésbé veszélyeztetnek a paraziták. A fényes tollazat e szerint a jellegzetesen szellemes Hamilton-féle elmélet szerint jó lehetőséget kínál a hímnek arra, hogy látványosan hirdesse egészségét.

Az élősködők elméleti jelentőségének helyes magyarázata túlságosan sok teret igényelne. Röviden, a nőstényválasztás összes eugenikus elméletével a probléma mindig is a következő volt. Ha a nőstények valóban sikeresen

tudnák kiválasztani a legjobb génekkel rendelkező hímeket, akkor éppen sikerük csökkentené a jövőben rendelkezésre álló választási lehetőségeket: végül, ha már csak jó gének volnának, nem volna értelme a választásnak. Az élősködők eltávolítják ezt az elméleti akadályt. Ennek az az oka Hamilton szerint, hogy a paraziták és a gazdák sohasem szűnő *ciklikus* fegyverkezési versenyt folytatnak egymással. Ez aztán azt jelenti, hogy bármelyik madárnemzedékben a „legjobb” gének nem azonosak a jövőendő nemzedékek legjobb génjeivel. Ami jó az élősködők mai nemzedékének legyőzéséhez, az haszontalan a fejlődő paraziták következő nemzedéke ellen. Ezért mindig lesznek olyan hímek, amelyek genetikai szempontból jobban fel vannak szerelve az akkori élősködők legyőzésére. A nőtények ezért mindig javukra tehetnek utódaiknak, ha a hímek jelen nemzedékéből a legegészségesebbet választják. A nőtények egymást követő nemzedékei számára tehát az egyedüli *általános kritériumot* azok a jelek szolgáltatják, amelyeket bármelyik állatorvos is használna: fényes szem, tömött tollazat és így tovább. Csak a valóban egészséges hímek képesek az egészségnek mindezen tüneteit felmutatni, így a szelekció azoknak a hímeknek kedvez, amelyek ezt a legteltjesebben képesek mutatni, sőt el is tudják túlozni hosszú farkak és széttárt faroklegyezők formájában.

Ám a parazitaelmélet, noha lehet, hogy helyes, nem lényeges e fejezet témája szempontjából: a robbanások szempontjából. Visszatérve a Fisher/Lande-féle megszaladási elméletre, most már valóságos állatoktól vett bizonyítékokra van szükségünk. Miként fogjunk hozzá ilyen bizonyítékok felkutatásához? Milyen módszereket használhatunk? Ígéretes próbálkozást tett erre Malte Andersson Svédországból. Úgy adódott, hogy éppen azzal a madárral dolgozott, amelyet én itt az elméleti gondolatok tárgyalásához használtam, a hosszúfarkú özvegymadárral, mégpedig természetes környezetében, Kenyában tanulmányozta. Andersson kísérleteit a műszaki haladás egyik új fejleménye tette lehetővé, a szuperragasztó. A következőképpen okoskodott. Ha igaz, hogy a hímek tényleges farokhosszúsága kompromisszum egyfelől a haszonelvű optimum, másfelől a nőtények valóságos kívánságai között, akkor egy hímét biztosan különlegesen vonzóvá lehet tenni azáltal, hogy extra hosszú farkat illesztünk rá. És itt lép be a szuperragasztó. Röviden ismertetem Andersson kísérletét, mert szép példája a kísérlettervezésnek.

Andersson fogott 36 hím özvegymadarat, és kilenc négyfős csoportra osztotta őket. Minden négyes csoportot hasonlóképpen kezelt. Minden négyes csoport egyik tagjának (kínosan ügyelve a kiválasztás véletlenszerűségére) 14 cm-esre nyírta vissza a farktollait. Az eltávolított tollakat gyorsragasztóval a négyes csoport második tagjának farka végéhez ragasztotta. Így az elsőnek mesterségesen megkurtított farka, a másodiknak pedig mesterségesen meghosszabbított farka lett. A harmadik madár farkát összehasonlítás céljából érintetlenül hagyta. A negyedik madárnak is meghagyta a farka hosszúságát, de nem maradt érintetlen: a tollak végét levágta, majd visszara-

gasztotta. Ez talán értelmetlennek tűnhet, ám jó példája annak, miként kell gondosan eljárni a kísérletek megtervezésekor. Előfordulhatott volna, hogy egy madárra az gyakorol hatást, hogy a farkait manipulálták, vagy az a tény, hogy befogták és egy ember foglalkozott vele, és nem magának a farkhosszúságnak a megváltoztatása. A negyedik csoport az ilyen hatások kontrollálására szolgált.

Andersson elgondolása az volt, hogy összehasonlíttja az egyes madarak párzási sikerét saját négyes csoportjának tőle eltérően kezelt tagjai sikerével. A kísérleti manipuláció után minden hímot visszaengedtek saját területére. Itt visszatért szokásos ténykedéséhez, amelynek során megpróbálta a területére vonzani a nőtényeket, hogy ott párosodjanak, fészket rakjanak és tojást tojjanak. A kérdés az volt, hogy az egyes négyfős csoportokból melyik hímnek lesz legnagyobb sikere a nőtények odavonzásában? Andersson ezt nem a nőtények szó szerinti megfigyelésével mérte, hanem várt, majd megszámolta az egyes hímek területén található és tojásokat tartalmazó fészkeket. Eredményül azt kapta, hogy a mesterségesen meghosszabbított farkú hímek majdnem négyszer annyi nőtényt vonzottak, mint a mesterségesen megkurtított farkúak. A normális, természetes hosszúságú farkú madarak sikere e kettő közé esett.

Az eredményeket statisztikai elemzésnek vetették alá, kizárandó azt, hogy egyedül a véletlen hozta őket létre. A következtetés az volt, hogy ha az egyedüli kritérium a nőtények vonzása volna, akkor a hímek jobban járnának a ténylegesnél hosszabb farkokkal. Más szóval a nemi szelekció állandóan a hosszabbá válás irányába húzza (evolúciós értelemben) a farkakat. Az a tény, hogy a valóságos farkak rövidebbek, mint ahogy a nőtények szeretnék, arra mutat, hogy kell lennie valamilyen más szelekciós nyomásnak is. Ez a haszonelvű szelekció. Feltehető, hogy a különlegesen hosszú farkú hímek nagyobb valószínűséggel pusztulnak el, mint az átlagos farkúak. Sajnos Anderssonnak nem volt ideje követni műtött hímjeinek sorsát. Azt feltételezzük, hogy a ráragasztott extra faroktollú hímek átlagosan rövidebb ideig éltek, mint a normális hímek, valószínűleg azért, mert esendőbbek lehettek a ragadozókkal szemben. A mesterségesen megkurtított farkú hímek viszont valószínűleg hosszabb életre számíthattak, mint a normális hímek. Ennek az az oka, hogy a normális hosszúságról föltételezzük, kompromisszum a szexuális szelekció optima és a haszonelvű optimum között. A mesterségesen megkurtított farkú madarak feltehetőleg közelebb állnak a haszonelvű optimumhoz, s ennek következtében tovább kellene élniük. Mindebben azonban rengeteg a föltevés. Ha kiderülne, hogy a hosszú fark fő haszonelvű hátránya megnövesztésének gazdasági költségéből fakad és nem abból, hogy kinövése fokozott veszélyeket rejt magában, akkor azok a hímek, amelyeknek Andersson ajándékként tálcán kínált extra hosszú farkat, nem biztos, hogy ennek következtében különösebben ifjan haltak volna meg.

Az eddigiekben úgy írtam, mintha a nőtények preferenciája a farkakat

és egyéb ékítményeket a növekedés irányába húzná. Elméletben, láttuk korábban, semmi ok sincs arra, hogy a nőtények preferenciája miért ne húzna éppen az ellenkező irányba, például a farkak egyre rövidebbé és nem hosszabbá válásának irányába. A közönséges ökörszemnek olyan rövid és tömpe farka van, hogy az ember hajlamos eltűnődni, vajon nem rövidebb-e, mint amilyenek szigorúan haszonelvű célok szempontjából „kellene” lennie. A hím ökörszemek közti versengés erőteljes, amit sejthetünk énekük aránytalan hangosságából. Az ilyen éneklés bizonyosan nagyon költséges, s a hím ökörszem arról ismert, hogy akár szó szerint halálra is éneklí magát. A sikeres hímeknek egynél több nőtényük van a területükön, az özvegymadarakhoz hasonlóan. Az ilyen versengő légkörben számíthatunk rá, hogy pozitív visszacsatolások indulnak be. Lehetséges vajon, hogy az ökörszem rövid farka megszabadó evolúciós zsugorodási folyamat végterméke?

Az egyik végtelen az ökörszemek farka, a másikon a páva legyezője, az özvegymadár és a paradicsommadár farka a maguk cifra különtségével nagyon kézenfekvően robbanásszerű, spirális evolúció végtermékei, amelyek pozitív visszacsatoláson alapulnak. Fisher és mai követői megmutatták nekünk, miként jöhetett ez létre. Ez az elgondolás vajon lényegileg a szexuális szelekcióhoz kötődik, vagy pedig meggyőző analógiákat találhatunk rá az evolúció más típusaiban is? Ezt a kérdést érdemes feltenni, már csak azért is, mert saját evolúciónknak is vannak olyan vonatkozásai, amelyek több mint sugalmazzák a robbanásszerűséget, különösen agyunk rendkívül gyors gyarapodása az elmúlt néhány millió év alatt. Felvetették, hogy ez magának a nemi kiválasztódásnak köszönhető, mivel hogy a nagy agy nemileg kíváncsú vonás (vagy a nagy agy valamilyen megnyilvánulása, például az a képesség, hogy egy hosszú és bonyolult rituális tánc lépéseit emlékezetben tartsuk). Ám az is lehetséges volna, hogy az agyméret másfajta szelekció hatása alatt nőtt robbanásszerűen, ami analóg, de nem azonos a nemi szelekcióval. Azt hiszem, hasznos különbséget tennünk a nemi kiválasztódással való lehetséges analógiák két szintje között, a gyenge és az erős analógia között.

A gyenge analógia egyszerűen a következőt állítja. Minden olyan evolúciós folyamat, amelyben az egyik lépés végterméke előkészíti a következő lépést, lehetőségében progresszív, néha robbanásszerűen progresszív. Ezzel a gondolattal már találkoztunk az előző fejezetben a fegyverkezési verseny formájában. A ragadozók felépítésének minden evolúciós tökéletesedése nyomást gyakorol a prédára, s ezáltal úgy hat, hogy a préda hatékonyabban kerülí majd el a ragadozókat. Ez azután nyomást gyakorol a ragadozókra és tökéletesedésre készíti őket, így örökké emelkedő spirált kapunk. Mint láttuk, valószínű, hogy sem a ragadozók, sem a prédák nem jutnak ezáltal szükségképpen nagyobb sikerarányhoz, mivel ellenségeik is tökéletesednek velük együtt. Mindenesetre a prédák is, a ragadozók is egyre jobban lesznek felszerelve.

Az erős analógia a szexuális szelekcióval azt állítja, hogy a Fisher/Lande-

féle elmélet lényege a zöldszakáll-szerű jelenség, miáltal a nőtények választását előidéző gének automatikusan *önmaguk* másolatait választják, s ebben a folyamatban automatikus tendencia mutatható ki a robbanásszerűvé válásra. Nem világos, hogy az efféle jelenségre vannak-e magán a szexuális szelekción kívül más példák is.

Azt gyanítom, az emberi kulturális evolúció nagyon jó terület arra, hogy a nemi kiválasztódáshoz hasonló robbanásszerű evolúció analógiái után kutassunk. Ennek az az oka, hogy itt is a szeszély szerinti választás számít, s az ilyen választás ki lehet téve a „divatnak” vagy a „többség mindig győz” hatásnak. Hadd emlékeztessenek ismét arra a figyelmeztetésre, amit e fejezet elején tettem. A kulturális „evolúció” egyáltalán nem evolúció, ha pontosak akarunk lenni a szavak használatában, mégis elég sok közös vonás van köztük ahhoz, hogy az elvek egybevetését jogosnak érezzük. Ennek során nem szabad félvállról vennünk a különbségeket. Tisztázzuk ezeket a dolgokat, mielőtt visszatérnénk a robbanásszerű spirálok konkrét kérdéséhez.

Gyakran rámutattak – csakugyan, a bolond is láthatja –, hogy van valami kvázievolúciós az emberi történelemben. Ha az emberi élet egy adott aspektusából szabályos időközönként mintát veszünk, például a tudományos ismeretek állapotából, az éppen játszott zenéből, az öltözködési divatokból vagy a szállítási eszközökből, mondjuk évszázadonként vagy esetleg évtizedenként, akkor *irányzatokat* találunk. Ha A, B és C egymást követő időpontokban három mintát veszünk, akkor irányzatról beszélni annyit jelent, hogy a B időpontban mért érték az A és C időpontok értékei közé esik. Bár lehetnek kivételek, mindenki egyetért abban, hogy az efféle irányzatok a civilizált élet sok aspektusát jellemzik. El kell ismerni, az irányzatok néha megfordulnak (például a szoknya hosszúságában), ez azonban igaz a genetikai evolúcióra is.

Sok irányzatot határozhatunk meg *tökéletesedésként*, különösen a hasznos technika irányzatait szemben a léha divattal, anélkül, hogy sokat vitatkoznánk az értékítéleteken. Nem kétséges például, hogy a világ bejárására szolgáló járművek egyenletesen és visszafordulás nélkül tökéletesedtek az elmúlt 200 év során, a ló vontatású járművektől a gőz hajtotta járműveken át egészen a mai szuperszonikus repülőgépekig. A tökéletesedés szót semleges értelemben használom. Nem akarom azt mondani, hogy mindenki egyetértene abban, hogy az élet minősége javult e változások eredményeként; én személy szerint gyakran kételkedem is ebben. Azt a közkeletű nézetet sem akarom tagadni, hogy a munka igényessége *csökkent* azáltal, hogy a tömegtermelés vette át a kézműves mesterek szerepét. Ám ha a szállítási eszközöket tisztán a *szállítás* szempontjából tekintjük, ami azt jelenti, hogy a világ egyik helyéről a másikra jutás eszközeiként, akkor nem lehet vitás a valamiféle tökéletesedés történelmi trendje, még ha csupán a sebesség tekintetében beszélhetünk is róla. Hasonlóképpen évtizedek vagy akár évek léptékében mérve folyamatos tökéletesedés tapasztalható a hifi hangerősítő berendezések minőségében. Ez tagadhatatlan, még akkor is, ha

az olvasó egyetért velem, a világ néha sokkal kellemesebb hely volna, ha az erősítőt ki sem találták volna. Nem arról van szó, hogy az ízlés megváltozott; objektív, mérhető tény, hogy a hangvisszaadás hűsége nagyobb, mint 1950-ben volt, és 1950-ben jobb volt, mint 1920-ban. A képviszaadás minősége tagadhatatlanul jobb a modern televíziókészülékekkel, mint a korábbiakkal, noha ugyanez természetesen nem feltétlenül igaz a sugárzott szórakoztató műsorok minőségére. A háborús gyilkolásra szolgáló gépek minősége drámai tökéletesedést mutat: évről évre több embert gyorsabban képesek megölni. Beszélni is fölösleges róla, hogy ez milyen értelemben nem tökéletesedés.

Nem kétséges, szűk technikai értelemben a dolgok javulnak az idők folyamán. Ez azonban csupán a műszakilag hasznos dolgok esetében nyilvánvaló, például a repülőgépek és a számítógépek esetében. Az emberi életnek sok más aspektusa is van, amelyek valódi irányzatokat mutatnak anélkül, hogy ezek bármilyen nyilvánvaló értelemben tökéletesedések volnának. A nyelvek egyértelműen fejlődnek abban az értelemben, hogy trendeket mutatnak, egymástól elválnak és elválásuk után kölcsönösen egyre érthetlenebbek lesznek egymás számára a századok folyamán. A Csendes-óceán számos szigete nagyszerű terépet kínál a nyelvi fejlődés tanulmányozására. A különböző szigetek nyelvei világosan emlékeztetnek egymásra, és különbségeik pontosan mérhetők a bennük elkülönülő szavak számával, amely mérce szoros analógiát mutat azokkal a molekuláris taxonómiai mércékkel, amelyeket a 10. fejezetben fogunk tárgyalni. Az eltérő szavak számával mért nyelvek közötti különbségek egy görbén ábrázolhatók a szigetek közötti mérföldekben mért távolság függvényében, s kiderül, hogy a görbe pontjai pontos matematikai alakot mutatnak, ami mond nekünk valamit a szigetről szigetre terjedés üteméről. A szavak kenuban utaztak szigetről szigetre terjedve az érintett szigetek távolságának mértékével arányos időközökkel. Egy-egy szigeten belül a szavak egyenletes ütemben változtak, nagyjából ugyanúgy, ahogy a gének alkalmanként mutáción esnek át. Bármely sziget, ha tökéletesen izolált, mutat némi evolúciós változást az idők folyamán nyelvében, s ennél fogva bizonyos eltérést a többi sziget nyelvétől. Az egymáshoz közel eső szigetek nyilvánvalóan nagyobb szóáramlási sebességet mutatnak a kenuk közvetítésével, mint az egymástól távol eső szigetek. Az előbbi nyelveknek újabb keletű közös ősök van, mint az egymástól távol eső szigetek nyelveinek. Ezek a jelenségek, amelyek megmagyarázzák a közeli és a távoli szigetek közt megfigyelt hasonlósági mintázatot, közeli analógiát mutatnak a Galápagos-szigetek különböző szigetein élő pintyekkel kapcsolatos tényekkel, amelyek eredetileg Charles Darwint ihlették meg. A gének szigetről szigetre szálltak a madártestekben, éppúgy, ahogy a szavak terjedtek szigetről szigetre kenukban.

A nyelvek tehát fejlődnek. Ám jöllehet a modern angol Chaucer angoljából fejlődött ki, nem hiszem, hogy sok ember óhajtaná azt állítani, hogy a modern angol a Chaucer-i angol tökéletesítése. Rendszerint nem gondolunk

tökéletesedésre vagy minőségre, amikor nyelvről beszélünk. Ha mégis, akkor a változást gyakran leromlásnak, torzulásnak látjuk. Hajlamosak vagyunk a korábbi használatot helyesnek látni, az újabb változásokat pedig romlásnak. De még mindig észlelhetünk evolúciószerű irányzatokat, amelyek tisztán elvont, értékmentes értelemben előrehaladóak. Még pozitív visszacsatolásra is találunk bizonyítékot, az eszkalációk (vagy más irányból nézve, a jelentéstorzulások) formájában. Például a sztár szót valaha csak egészen kivételesen ünnepeelt filmszínészre használtuk. Azután úgy torzult, hogy bármely színészt jelentette, aki egy film valamelyik főszerepét játszotta. Ezért a kivételesség eredeti jelentésének visszanyerése végett a szót szupersztárrá kellett fokozni. Később a filmstúdiók reklámja a szupersztár szót olyan színészekre is használni kezdte, akikről a legtöbb ember sohasem hallott, így következett a megasztár továbbfokozás. Ma már nem kevés színészt hirdetnek megasztárként, akikről legalábbis én sohasem hallottam, így lehetséges, hogy újabb eszkaláció előtt állunk. Vajon hamarosan „hipersztárokról” fogunk hallani? Hasonló pozitív visszacsatolás értékelte le a séf (chef) szót. Ez természetesen a francia *chef de cuisine* kifejezésből ered, ami *konyhafőnököt* jelent. Tehát definíció szerint konyhánként csak egy séf lehetséges. Ám, talán méltóságukat emelendő, a közönséges (férfi) szakácsok, sőt a fiatal hamburgersütők is séfnek kezdték titulálni magukat. Ennek következtében ma már gyakran halljuk a „fősfé” tautológikus kifejezést!

Ha azonban ez a szexuális szelekció analógiája, akkor legjobb esetben csupán a gyenge értelemben. Ugorjunk most közvetlenül át az erős analógiához szerintem legközelebb álló esetre: a poplemezek világára. Ha a poplemezek rajongóinak beszélgetését hallgatjuk, vagy ha a rádión a disc-jockeyk közép-atlanti szövegelésére kapcsolunk, nagyon különös dolgot fedezünk föl. Míg a műkritika más műfajai elárulnak némi érdeklődést a stílus, az előadás, az előadói készség, a hangulat, az érzelmi hatás iránt, a művészeti forma minősége és tulajdonságai iránt, addig a popzenei szubkultúrát szinte kizárólag *maga a népszerűség* érdekli. Teljesen világos, hogy egy lemezzel kapcsolatban nem az a fontos, hogy jól hangzik-e, hanem *hogy hány ember veszi meg*. Az egész szubkultúra megszállottja a lemezek rangsorolásának, amit 20-as vagy 40-es sikerlistának neveznek, s ami kizárólag az eladási számokon alapul. Egy lemezzel kapcsolatban egy dolog számít igazán: hol áll a slágerlistán. Ez, ha belegondolunk, nagyon egyedülálló tény, és nagyon érdekes, ha R. A. Fisher megszaladó evolúciós elméletében gondolkozunk. Valószínűleg annak is jelentősége van, hogy egy disc-jockey ritkán említi egy lemez jelenlegi helyzetét a sikerlistán anélkül, hogy meg ne említene múlt heti állását. Így a hallgató fölmérheti nem csupán a lemez jelenlegi népszerűségét, hanem a népszerűség *változásának* sebességét és irányát is.

Ténynek látszik, hogy sok ember egy lemezt azért vásárol meg, mert más emberek is nagy számban vásárolják ugyanezt a lemezt (vagy állítólag ezt teszik). Szembeszökő bizonyítéka ennek az a tény, hogy ismeretes némely

lemeztársaságokról, hogy elküldik képviselőiket a kulcsfontosságú boltokba azzal a megbízással, hogy saját lemezeikből nagy mennyiséget vásároljanak fel annak érdekében, hogy az eladási példányszámokat felnyomják abban a körzetben, ahol a kereslet meglódulhat. (Ez nem olyan nehéz dolog, mint amilyennek hangzik, mivel a slágerlisták számai a lemezboltok kis mintájának eladási adatain alapszanak. Ha tudjuk, hogy melyek ezek a főüzletek, akkor nem kell olyan borzasztó sok lemezt fölvásárolnunk annak érdekében, hogy jelentős hatást gyakoroljunk az eladások országos becslésére. Megbízható forrásokból származó történeteket is tudunk arról, hogy ezeknek az üzleteknek az eladóit megvesztegették.)

Kisebb mértékben ugyanezen népszerűség a népszerűségért jelenség jól ismert a könyvkiadás, a női divat és általában a hirdetések világában. Az egyik legjobb dolog, amit a hirdető mondhat egy termékről, hogy a maga nemében a legjobban eladható cikk. A könyvek bestsellerlistáját hetenként kiadják, és kétségtelenül igaz, hogy amint egy könyv eléggé fut ahhoz, hogy e listák egyikén megjelenjék, eladásai még tovább növekszenek, egyszerűen e ténynek köszönhetően. A könyvkiadók azt mondják, hogy a könyv „elrugaszkodik”, azok a kiadók pedig, amelyek tudnak valamit a tudományról is, „az elrugaszkodás kritikus tömegéről” beszélnek. Az analógia itt az atombombával áll fenn. A 235-ös uránizotóp elég stabil mindaddig, amíg nincs belőle túl sok egy helyen. Van egy kritikus tömeg, amit ha meghalad, lehetővé válik a láncreakció vagy megszaladó folyamat beindulása pusztító következményekkel. Az atombomba két kupac 235-ös uránizotópot tartalmaz, amelyek kisebbek a kritikus tömegnél. Amikor a bomba felrobban, akkor a két kupac összepréselődik, meghaladja a kritikus tömeget, s ez a vége egy közép méretű városnak. Amikor egy könyv eladásai elérik a „kritikus határt”, akkor a számok elérik azt a pontot, amikor a szájról szájra terjedő ajánlatok stb. azt eredményezik, hogy az eladott példányok száma hirtelen megszaladó módon felfut, és elkövetkezik az exponenciális növekedés időszaka, mielőtt a kiküszöbölhetetlen stagnálás és az ezt követő hanyatlás be nem következik.

Az ennek alapját képező jelenségeket nem nehéz megértenünk. Lényegében itt a pozitív visszacsatolás további példáival van dolgunk. Egy könyv vagy akár egy poplemez valóságos minősége nem elhanyagolható tényező üzleti sikerének meghatározásában, mégis amikor ott ólálkodik a pozitív visszacsatolás, akkor óhatatlanul erős az önkényes elem annak meghatározásában, hogy melyik könyvnek vagy lemeznek lesz sikere és melyik bukik meg. Ha a kritikus tömeg és az elrugaszkodás fontos elem minden sikertörténetben, akkor szükségképpen sokat számít a szerencse, és tág tere nyílik a manipulációnak és a helyzet kihasználásának olyan emberek részéről, akik értik a rendszert. Így például érdemes tekintélyes pénzösszeget befektetni abba, hogy egy könyvet vagy lemezt eljuttassunk a kritikus tömegig, mivel attól kezdve már nem sokat kell a reklámozására költeni: a pozitív visszacsatolás átveszi a szerepet és elvégzi számunkra a reklámozást.

Ezeknek a pozitív visszacsatolásoknak vannak közös vonásaik a Fisher/Lande-féle elmélet szerinti nemi szelekcióval, de vannak különbségek is. A hosszú farkú pávákat preferáló nőstény pávák csak azért járnak jól, mert *más* nőstényeknek ugyanezek a preferenciáik. A hím értékei önmagukban önkényesek és lényegtelenek. Ebben a tekintetben az a lemezrajongó, aki az adott lemezt éppen azért akarja megvásárolni, mert benne van a slágerlista első 20 helyezettjében, pontosan úgy viselkedik, mint a pávanőstény. Különbözik azonban az a fontos mechanizmus, amely által a két esetben a pozitív visszacsatolás működik. És ez azt hiszem, visszavisz bennünket oda, ahol ez a fejezet kezdődött, ahhoz a figyelmeztetéshez, hogy az analógiákat eddig kell vinni, és nem tovább.

A szaggatott fejlődés elméletének ízekre szedése

Israel gyermekei az Exodus története szerint 40 éven át vándoroltak a Sinai sivatagban az ígéret földjére, azaz, körülbelül 200 mérföldnyi távolságot. Átlagsebességük tehát megközelítőleg naponta 24 yard (1 yard = 91,44 cm) vagy óránként 1 yard volt. Mondjuk óránként 3 yard, ha az éjszakai pihenőket is számítjuk. Akárhogyan is számoljuk, az átlagsebesség mindenképpen abszurd mértékben lassú, sokkal lassúbb, mint a közmondásos csiga (a *Guinness Rekordok Könyve* szerint a világrekorder csiga a hihetetlen 55 yardos óránkénti sebességet is elérte). De hát természetesen senki sem hiszi, hogy az átlagsebességet folyamatosan és egyöntetűen fenntartották. Nyilvánvaló, hogy az izraeliták rapszodikusán vándoroltak, esetleg hosszú időre letáboroztak egy helyen, mielőtt továbbmentek. Valószínűleg sokuknak nem is volt világos elképzelésük arról, hogy bármely adott irányban *utaznának*, és körbe-körbe vándoroltak oázisról oázisra, ahogyan a nomád sivatagi pásztorok szoktak. Ismétlem, senki sem hiszi komolyan, hogy az átlagsebességet folytonosan és egyetemesen fenntartották.

Ám tételezzük most föl, hogy két ékesszóló ifjú történész lép színre. A bibliai történetben eddig, mondják, a „gradualista” iskola uralkodott. A gradualista történészek, mondják, szó szerint elhitték, hogy az izraeliták napi 24 yardot utaztak; minden reggel fölszedték sátorfájukat, caplattak 24 yardot kelet-északkelet irányban, azután újra táborot vertek. A gradualizmus egyetlen alternatívája, mondják, a történelem új, dinamikus „punktualista” iskolája, amely a szaggatott haladást vallja. A radikális ifjú punktualisták szerint az izraeliták idejük legnagyobb részét állva töltötték, egyáltalán nem mozogtak, hanem táboroztak, gyakran éveken keresztül egy és ugyanazon a helyen. Azután meglehetősen gyorsan továbbhaladtak egy új táborhelyre, ahol ismét több éven keresztül táboroztak. Az ígéret földje felé tehát nem fokról fokra és folytonosan haladtak, hanem lökésszerűen: a helyben állás hosszú időszakait a gyors mozgás rövid időszakai szakították meg. Mozgáskitöréseik ráadásul nem mindig az ígéret földje irányában történtek, hanem szinte véletlenszerűen megválasztott irányban. Csak ha visszafelé vizsgáljuk meg a nagy léptékű *makromigrációs* mintázatot, akkor látunk tendenciát az ígéret földjének irányába.

A punktualista bibliatörténészek olyannyira ékesszólóak, hogy a hírközlési eszközök sztárjai lesznek. Arcképeik díszelgnek a nagy példányszámú

hírmagazinok címdoldalán. A tévében a bibliatörténetről szóló dokumentumműsorok nem lehetnek teljesek legalább az egyik vezető punktualistával készült interjú nélkül. Azok az emberek, akik mit sem tudnak a bibliakutatásról, egyetlen tényre emlékeznek: abban a sötét korszakban, mielőtt a punktualisták színre léptek volna, mindenki tévedésben élt. Vegyük észre, hogy a punktualisták reklámozottságának semmi köze ahhoz a tényhez, hogy igazuk is lehet. Egyedül ahhoz van köze, hogy a korábbi tekintélyek állítólag gradualisták voltak és tévedtek. A punktualistákra azért figyelnek oda, mert forradalmárokként adják el magukat, és nem azért, mert igazuk van.

A punktualista bibliatörténészekről szóló történetem természetesen nem igaz. Parabola, amely analóg a biológiai evolúció kutatóinak állítólagos vitájával. Bizonyos tekintetben nem sportszerű parabola, de nem is teljesen méltánytalan, és elegendő igazság van benne ahhoz, hogy e fejezet elején joggal meséljem el. Az evolúcióbiológusok között van egy sokat reklámozott iskola, amelynek hirdetői magukat punktualistáknak nevezik, és csakugyan kitalálták a gradualista kifejezést legbefolyásosabb elődeik megjelölésére. Óriási publicitást élveztek egy olyan közönség előtt, amely szinte semmit sem tudott az evolúcióról, és főként azért, mert álláspontjukat – inkább másodrangú riporterek, mint saját maguk – a korábbi evolucionisták, különösen Charles Darwin álláspontjától gyökeresen eltérőnek állították be. Eddig bibliaanalógiám méltányos.

Az analógia abban a tekintetben nem méltányos, hogy a bibliatörténészek gradualistái nyilvánvalóan nem létező, a punktualisták által fabrikált szalmazabók. Az evolúciós gradualisták esetében az a tény, hogy ők nem létező szalmazabúk, nem annyira nyilvánvaló. Be kell bizonyítani. Darwinnak és sok más evolucionistának a szavait lehetséges gradualista szándékúnak értelmezni, ekkor azonban fontos felismernünk, hogy a gradualista kifejezést különbözőképpen, különböző értelemben interpretálhatjuk. A gradualista szónak olyan értelmezést is adhatok, amely szerint szinte mindenki gradualista. Az evolúció esetében az izraeliták parabolájától eltérően csakugyan ott kísért egy valódi vita, ám ez a valódi vita olyan csekély részletek körül folyik, amelyek közel sem olyan fontosak, hogy rászolgáltak volna erre a nagy, nyilvános hűhóra.

Az evolucionisták között a punktualisták eredetileg a paleontológusok sorai közül kerültek ki. A paleontológia az őskori leletek tanulmányozása. Ez nagyon fontos ága a biológiának, mert az evolúciós ősök már mind réges régen kihaltak, és egyedül a leletek kínálnak számunkra közvetlen bizonyítékokat a régmúlt állatairól és növényeiről. Ha meg akarjuk tudni, hogyan néztek ki evolúciós őseink, akkor főként a kőületekben bízhatunk. Amint az emberek fölismerték, hogy valójában mik is a kőületek – a korábbi iskolák azt tartották, hogy az ördög művei vagy hogy az Özönvízbe fulladt szegény bűnösök csontjai –, világossá vált, hogy bármilyen evolúciós elméletnek meg kell mondania, milyen őskori leletekre számít. Ám volt arról

némi vita, hogy pontosan mik ezek a várakozások, és részben ehhez kapcsolódik a punktualizmus érvelése.

Szerencsések vagyunk, hogy egyáltalán vannak kövületeink. Figyelemre méltó szerencsés ténye a földtannak, hogy a csontok, héjak és az állatok más kemény részei, mielőtt szétporladnának, néha lenyomatot hagynak maguk után, ami később öntőformaként működik, és a megkeményedő kőzetet az állat tartós emlékévé alakítja. Nem tudjuk, az állatoknak mekkora hányada vált kövületté halála után – én személy szerint megtiszteltetésnek érezném, ha kövületté válhatnék –, de minden bizonnyal nagyon kicsiny hányad ez. De azért bármilyen kis hányaduk vált is kövületté, a leletekkel kapcsolatban vannak bizonyos dolgok, amikre minden evolucionistának számítani kell. Nagyon meg kellene lepődnünk például, ha megkövült emberekre lelnénk az előttről, amikor az emlősök kifejlődését tesszük! Ha egyetlen, jól meghatározható emlőskoponya is fölbukkanna 500 millió éves kőzetekben, egész modern evolúcióelméletünk teljesen összeomlana. Mellékesen ez kielégítő válasz arra a hírlapi kacsára, amit a teremtés hívei és újságíró társaik röppentettek föl, miszerint az egész evolúcióelmélet „cáfolhatatlan” tautológia. Ironikus módon ez az oka annak is, hogy miért lelkesednek annyira a teremtés hívei azokért a hamis emberi lábnyomokért, amelyeket a turisták lóvátevésére véstek bele a texasi dinoszauruszágakba a gazdasági válság idején.

Mindenesetre ha valódi kövületeinket sorba rendezzük a legrégebbitől a legfiatalabbig, akkor az evolúció elmélete szerint valamilyen rendezett sorra számítunk, és nem összevisszaságra. Fejezetünk szempontjából fontosabb, hogy az evolúcióelmélet különböző változatai, például a „gradualizmus” és a „punktualizmus” esetleg eltérő mintázatra számít. Az ilyen vállalkozásokat csak akkor ellenőrizhetjük, ha van valamilyen eszközünk a leletek *datálására* vagy legalábbis keletkezésük sorrendjének kiderítésére. A leletek kormeghatározásának problémái és a leletek meghatározása rövid kitérőt igényel, ami az első lesz számos kitérőnk közül, amelyekért az olvasó türelmét kérjük. Ezek szükségesek a fejezet fő témájának magyarázatához.

Már régen tudjuk, miként rendezzük el a leleteket keletkezésük sorrendjében. A módszer lényege a rétegeződésben rejlik. Az újabb kövületek nyilvánvalóan a régebbiek tetején fekszenek és nem alattuk, s ennek megfelelően a kőzetüledékekben magasabb rétegben foglalnak helyet. Néha előfordul, hogy vulkánkitörések feje tetejére fordítanak egy kőzetdarabot, s ekkor természetesen a leletek sorrendje, ahogy ásunk lefelé, éppen fordított lesz. Ez azonban elég ritka ahhoz, hogy egyértelműen elkülöníthető legyen, ha mégis előfordul. Még ha ritkán is találkozunk teljes történeti emlékekkel ahogy ásunk lefelé egy terület kőzeteiben, jó feljegyzéseket állíthatunk össze különböző területek átfedő részei alapján (tulajdonképpen, bár a „leásás” képet használom, a paleontológusok ritkán ásunk szó szerint lefelé a rétegeken át; valószínűbb, hogy különböző mélységekből erózió által feltárt leletekre bukkannak). Jóval azelőtt, hogy tudták volna, miként határozzák meg

a kővületek korát évmilliókban, az őslénytan-kutatók a földtani korszakok megbízható sémáját dolgozták ki, és nagyon részletesen tudták, melyik korszak melyik előtt volt. Bizonyos fajta kagylóhéjak annyira megbízható jelzői a kőzetek korának, hogy az olajkutatók is nagymértékben támaszkodnak rájuk. Önmagukban azonban csupán a kőzetrétegek *viszonylagos korát* árulják el, sohasem az abszolút korukat.

Újabban a fizika fejlődése olyan módszereket adott a kezünkbe, amelyekkel a kőzetek és a bennük rejlő kővületek korát mindjobban meg tudjuk határozni. Ezek a módszerek azon a tényen alapulnak, hogy bizonyos radioaktív elemek pontosan ismert sebességgel bomlanak le. Olyan ez, mintha precíziós miniatűr stopperórákat temettek volna bele a kőzetekbe. Minden egyes stopperóra azon nyomban elindult, ahogy letették. A paleontológusoknak csak ki kell ásni őket, és le kell olvasni róluk az időt. A radioaktív bomláson alapuló geológiai stopperórák különböző típusai különböző sebességgel járnak. A radioaktív szénnel működő stopperóra nagy sebességgel jár, olyan gyorsan, hogy néhány ezer év után már szinte lejár, és az óra többé nem megbízható. Hasznos a régészeti/történeti léptékű szerves anyagok korának meghatározásában, ahol évszázadokkal vagy néhány ezer évvel van dolgunk, de nem tudunk vele mit kezdeni az evolúció léptékében, ahol évmilliókkal dolgozunk.

Az evolúció léptékében másfajta órák, például a kálium–argon óra alkalmas. A kálium–argon óra annyira lassú, hogy alkalmatlan volna a régészeti/történelmi időlépték számára. Ahhoz lehetne hasonlítani, mint hogyha egy közönséges óra kismutatóját használnánk a százméteres síkfutás időeredményének mérésére. Az evolúció megamaratoni futásának időmérésére viszont pontosan az ilyen kálium–argon órára van szükség. Másik radioaktív „stopperóra”, mindegyik a maga jellemző lassulási sebességével a rubídium–stroncium és az uránium–tórium óra. Ebből a kitérőből tehát kiderült számunkra, hogy ha egy paleontológusnak mutatunk egy kővületet, akkor rendszerint meg tudja mondani egy millióéves abszolút időskálán, hogy mikor élt az állat. Emlékeztetőül: azért fogtunk bele az időmérés tárgyalásába, mert a különféle evolúciós elméleteknek a kővületekre vonatkozó elvárásai foglalkoztattak bennünket – a punktualista, gradualista stb. elméletké.

Itt az ideje rátérnünk, hogy mik ezek a különféle várákozások. Tegyük föl először is, hogy a természet rendkívül kegyes volt a paleontológusokhoz (vagy talán kegyetlen, ha arra gondolunk, hogy mennyi többletmunkát jelentene ez), és minden valaha élt állatból található kővület. Ha csakugyan belepillantathatnánk egy ilyen teljes leletgyűjteménybe, amely gondosan időrendi sorrendbe van rakva, evolucionistákként milyen látványra kellene számítanunk? Nos, ha gradualisták vagyunk, az izraelitákról szóló parabola-ban karikírozott értelemben, akkor a következőkhöz hasonlóra kellene számítanunk. A leletek kronológiai sorrendje mindig egyenletes evolúciós trendeket mutat, rögzített változási sebességgel. Más szóval, ha van három

kövületünk, A, B és C, mégpedig A B őse, amely pedig C őse, akkor arra kellene számítanunk, hogy B formáját tekintve arányosan A és C közé esik. Ha például A lábának hossza 20 hüvelyk, C lábának hossza pedig 40 hüvelyk, akkor B láb hosszának a kettő közé kell esnie, mégpedig úgy, hogy a pontos hosszúság arányos az A létezése és B létezése között eltelt idővel.

Ha a gradualizmus karikatúráját logikai végkövetkeztetéséig visszük, akkor ugyanúgy, ahogy kiszámítottuk, hogy az izraeliták napi sebessége 24 yard volt, kiszámíthatjuk azt is, hogy mennyi a lábak hosszabbodásának átlagsebessége az A-tól C-ig terjedő leszármazási vonal mentén. Ha mondjuk A húszmillió évvel korábban élt, mint C (hogy ezt valahogy hozzávetőlegesen a valósághoz kössük, a lovak családjának legkorábbi ismert tagja, a *Hyracotherium*, körülbelül ötvenmillió évvel ezelőtt élt, és mérete egy terriernek felelt meg), akkor húszmillió évenként 20 hüvelyk az evolúciós növekedési sebesség, vagy másként évente egymilliomod hüvelyk. Mármost a gradualista karikatúrája állítólag úgy vélné, hogy a lábak a nemzedékek során egyenletesen növekedtek ezzel a nagyon lassú sebességgel: mondjuk nemzedékenként négymilliomod hüvelyknyit, ha egy lószerű nemzedékidőt körülbelül 4 évnek veszünk. A gradualista eszerint úgy véli, hogy a nemzedékek millióin át az átlagnál négymilliomod hüvelykkel hosszabb lábú egyedeknek előnyük volt az átlagos láb hosszúságú egyedekkel szemben. Ez olyan, mintha valaki azt gondolná, hogy az izraeliták naponta 24 yardot utaztak a sivatagon át.

Ugyanez áll az egyik leggyorsabb evolúciós változásra, az emberi koponya kitágulására a körülbelül 500 cm³ űrtartalmú *Australopithecus*-szerű ősről a körülbelül 1400 cm³ átlagos agytérfogatú mai *Homo sapiens*-ig. Ez a körülbelül 900 cm³-es növekedés, az agytérfogat nagyjából háromszorozódása csupán 3 millió év alatt zajlott le. Evolúciós léptékkal ez gyors változási ütemnek számít: mintha egy léggömböt fújtak volna fel, és bizonyos szempontból a mai emberi koponya csakugyan egy dudoros, tekékre osztott léggömbre emlékeztet, összehasonlítva az *Australopithecus* laposabb, csapott homlokú koponyájával. Ám ha megszámoljuk, hogy hány nemzedék élt a hárommillió év alatt (mondjuk évszázadonként négy), akkor az evolúció átlagsebessége nemzedékenként kevesebb mint egyszázad köbcentiméter. A gradualista karikatúrája állítólag úgy gondolja, hogy lassú és rendíthetetlen változás folyt nemzedékről nemzedékre úgy, hogy minden nemzedékben a fiak egy kicsivel eszesebbek lettek apjuknál, néha egész 0,01 cm³-rel eszesebbek. Az egyszázad köbcentiméternyi többlet feltehetőleg jelentős előnyt nyújtott az életben maradáshoz minden egyes rákövetkező nemzedék számára az előző nemzedékkel szemben.

Ám az egyszázad köbcentiméter nagyon kicsiny mennyiség a mai emberek agyméretbeli különbségeihez képest. Gyakran idézett tény például, hogy az író Anatole France-nak – aki nem volt buta ember, és ráadásul Nobel-díjas – kevesebb mint 1000 cm³-es agya volt, a skála másik végén 2000 cm³-es agyak is előfordulnak: Oliver Cromwellt gyakran hozzák föl példaképpen,

bár nem tudom, hogy mennyire hitelt érdemlően. Az század köbcentiméternyi átlagos nemzedékenkénti növekmény tehát, amit a gradualista karikatúrája állítólag jelentős előnynek tart az életben maradás szempontjából, mindössze egyszázvezrednyi része az Anatole France és Oliver Cromwell agya közötti *különbségnek*! Még szerencse, hogy a gradualista karikatúrája a valóságban nem létezik.

Nos, ha a gradualistának ez a fajtája nem létező karikatúra – szélmalom a punktualisták lándzsái számára –, akkor van-e vajon olyan gradualista, aki valóban létezik, és aki védhető nézeteket vall? Meg fogom mutatni, hogy a válasz igen, és hogy az ebben a második értelemben vett gradualisták soraiban ott találjuk az összes épeszű evolucionistát, köztük, ha alaposabban megvizsgáljuk nézeteiket, mindazokat, akik magukat punktualistáknak nevezik. Meg kell azonban értenünk, hogy a punktualisták miért *gondolták*, hogy nézeteik forradalmiak és izgalmasak. Kiindulópontunk az, hogy látványosan „hézagok” vannak a kövületek sorában, s most ezekre a hézagokra térünk rá.

Az evolucionisták már Darwin óta rájöttek, hogy ha az összes őseleteinket időrendi sorba rendezzük, akkor *nem* alkotnak alig észlelhető változásokat mutató, egyenletes sort. Kétségtelen, hogy kitapinthatunk hosszú távú változási trendeket – a lábak egyre hosszabbá válnak, a koponyák egyre kidudorodóbbá és így tovább –, ám a leletek által rajzolt görbék rendszerint girbegurbák, nem simák. Darwin és követőinek legtöbbje föltételezte, hogy ennek fő oka a leletek hiányos volta. Darwin nézete szerint, ha birtokunkban volna a teljes leletsor, az *finom* és nem durva változást *mutatna*. Ám mivel a kövületképződés véletlenszerű dolog, a kövületek megtelepedése pedig aligha kevésbé véletlenszerű, úgy vagyunk ezzel, mint a mozgófilmmel, amelyből a legtöbb kocka hiányzik. Nem vitás, hogy látunk valamiféle mozgást amikor levetítjük kövületfilmünket, ez azonban durvább, mint Charlie Chapliné, mivel még a legrégebb és legrongáltabb Chaplin-film sem vesztette el kockáinak kilenczetedét.

Niles Eldredge és Stephen Jay Gould amerikai paleontológusok, amikor 1972-ben először megfogalmazták a szaggatott egyensúly elméletét, olyasmit állítottak, amit azóta az iméntiektől nagyon különböző dologként állítanak be. Szerintük a leletek a valóságban nem hiányosak, ahogy mi gondoltuk. Lehet, hogy a hézagok híven tükrözik azt, ami valóban történt, és nem a leleteink hiányosságának bosszantó, de kikerülhetetlen következményei. Lehetséges, hogy az evolúció bizonyos értelemben csakugyan hirtelen kitörésekben haladt, megtörve a „pangás” hosszú időszakait, amikor egy adott leszármazási vonalon nem történt evolúciós változás.

Mielőtt rátérnénk, hogy miféle hirtelen kitörésekre gondoltak ők, íme a kifejezés néhány elképzelhető jelentése, ami bizonyosan nem lebegett a szemük előtt. Ezeket el kell takarítanunk az útból, mert súlyos félreértéseket okoztak. Eldredge és Gould bizonyára egyetérteneek abban, hogy néhány nagyon fontos hézag valóban a leletek hiányainak tulajdonítható. Mégpedig

nagyon nagy hézagok. Például a kambriumi közetrétegek, körülbelül 600 millió évesek, a legrégebbiek, ahol a főbb gerinctelen csoportok legtöbbjét már megtaláltuk. És sokuk már legeslegelső felbukkanásakor az evolúció fejlett fokán áll. Mintha mindenféle evolúciós történet nélkül egyszerűen odahelyezték volna őket. Mondanunk sem kell, ez nagy örömet okozott a teremtés híveinek körében. Az evolucionisták azonban, tartozzanak bármelyik táborba, úgy vélik, hogy itt valójában nagyon nagy hézagról van szó a leletek sorában, s ez a hézag egyszerűen annak a ténynek tulajdonítható, hogy valamilyen oknál fogva a 600 millió évvel ezelőtti korszakokból nagyon kevés kövület maradt meg. Ennek egyik jó oka lehet, hogy ezeknek az állatoknak a többsége csupán lágy részeket tartalmazott: nem voltak héjaik vagy csontjaik, amelyek megkövülhettek volna. Ha valaki a teremtés híve, gondolhatja, hogy ez csupán kifogás. Azt állítom, hogy amikor ilyen nagyságrendű hézagokról beszélünk, akkor semmiféle különbség nincs a punktualisták és a gradualisták között. Mindkét iskola egyformán megveti az úgynevezett tudományos teremtés híveit, s mindketten egyetértenek, hogy a *nagyobb* hézagok valóságosak, hogy azok a leletek sorának igazi hiányai. Mindkét iskola egyetért abban, hogy az egyedüli alternatív magyarázat oly sok bonyolult állattípus váratlan felbukkanására a kambrium korban az isteni teremtés, s mindkét iskola elveti ezt az alternatívát.

Van egy másik, elképzelhető értelmezése is annak, hogy az evolúció hirtelen ugrásokkal halad, ám ez sem az, amit Eldredge és Gould, legalábbis írásaik legtöbbjében javasolnak. Elképzelhető, hogy a leletek hézagainak némelyike valóban egyetlen nemzedéken belüli hirtelen változást tükröz. Elképzelhető, hogy csakugyan soha nem voltak közbülső fokok; elképzelhető, hogy nagy evolúciós változások történtek egyetlen nemzedék alatt. Születhetett olyan fiú, amely annyira különbözött apjától, hogy helye már egy másik fajban volt. Ez egy mutáns egyed, s a mutáció olyan nagy volna, hogy makromutációnak kellene neveznünk. A makromutációkra építő evolúcióelméleteket szaltációs elméleteknek nevezik a latin *saltus*, ugrás szóból. Mivel a szagatott egyensúly elméletét gyakran keverik össze a valódi szaltációval, fontos itt kifejtenuk az utóbbit és rámutatni, miért nem lehetett jelentős tényező az evolúcióban.

Makromutációk – nagy hatású mutációk – kétségtelenül előfordulnak. A kérdés nem az, hogy előfordulnak-e, hanem hogy szerepet játszanak-e az evolúcióban; más szóval belekerülnek-e a faj génkészletébe vagy ellenkezőleg, a természetes szelekció mindig eltünteti őket. A makromutáció híres példája a gyümölcslegyek ún. antennapaediája (csáplábúsága). A normális rovarban a csápoknak vannak közös vonásaik a lábakkal, és az embrióban hasonló módon fejlődnek. Ám a különbségek is szembeszökőek, s a kétféle végtagot nagyon eltérő célra használják: a lábakat járásra, a csápokat pedig érzékelésre, szaglásra és a dolgok egyéb észlelésére. A csáplábú legyek torzszülöttek, amelyekben a csápok ugyanúgy fejlődnek ki, mint a lábak. Vagyis olyan legyek, amelyeknek nincsenek csápjaik, viszont egy többlet pár

lábuk van, amelyek ott nőnek ki, ahol a csápoknak kellene lenniük. Ez valódi mutáció, amennyiben a DNS másolásakor keletkezett hiba következménye. És tovább is adódik, ha a csáplábú legyeket laboratóriumban babusgatják, s így elég sokáig élnek ahhoz, hogy egyáltalán szaporodjanak. Vadon nem sokáig maradnának életben, minthogy mozgásuk ügyetlen és létfontosságú érzékszerveik hiányoznak.

Makromutációkra tehát valóban sor kerül. De vajon szerepet játszanak-e az evolúcióban? A szaltacionisták úgy vélik, hogy a makromutációk olyan eszközök, amelyek által nagyobb evolúciós ugrásokra kerülhet sor egyetlen nemzedéken belül. Richard Goldschmidt (nevével a 3. fejezetben találkozunk) igazi szaltacionista volt. Ha a szaltacionizmus igaz volna, akkor a leletek látszólagos hézagainak egyáltalán nem kellene hézagoknak lenniük. Egy szaltacionista például hihetné, hogy az áttérés a csapott homlokú *Australopithecusról* a boltozatos homlokú *Homo sapiensre* egyetlen nemzedéken belül egyetlen makromutációs lépésben zajlott le. A két faj közötti formabeli különbség valószínűleg kisebb, mint a normális és a csáplábú gyümölcslégy közötti különbség, s így elméletileg elképzelhető, hogy az első *Homo sapiens* két normális *Australopithecus*-szülő torz gyereke volt, akit valószínűleg kiközösítettek és üldöztek.

Jó alapunk van arra, hogy elvessük az evolúció ilyen szaltacionista elméleteit. Egyik nem túlságosan izgalmas okunk lehet erre az, hogy ha egy új faj csakugyan előbukkanhatna egyetlen mutációs lépésben, akkor nem volna könnyű dolga, amikor párt kell találnia magának. Ez azonban szerintem kevésbé sokatmondó és érdekes ok, mint két másik, amelyek már akkor fölsejlettek, amikor kizártuk a nagyobb ugrások lehetőségét Biomorfországbán. Az elsőt ezek közül a nagy statisztikus és biológus R. A. Fisher vetette föl, akiről más összefüggésben már volt szó az előző fejezetekben. Fisher rendíthetetlen ellenfele volt a szaltacionizmus minden fajtájának, mégpedig oly időben, amikor a szaltacionizmus sokkal divatosabb volt mint ma; s a következő analógiához folyamodott. Képzeljünk el egy mikroszkópot, amely majdnem, de nem tökéletesen élesre van állítva, és egyébként alkalmas arra, hogy lássunk vele. Mi az esélye annak, hogy ha valami véletlenszerű változtatást hajtunk végre a mikroszkóp állapotán (ami megfelel egy mutációnak), akkor javítjuk az élességet és a kép általános minőségét? Fisher így folytatja:

„Elégge világos, hogy bármiféle nagy elmozdítás nagyon kicsiny valószínűséggel javít a beállításon, míg az olyan változtatások esetében, amelyek sokkal kisebbek, mint a működtető által szándékosan végrehajtott legkisebb változtatás, a javulás esélye szinte pontosan 50% lesz.”

Már utaltam rá, hogy amit Fisher „könnyen beláthatónak” talált, az gyakorta félelmetes követelmények elé állította a közönséges tudósok szellemi erejét, s ugyanez igaz arra is, amit Fisher „elégge világosnak” gondolt. A további szellemi erőfeszítés azonban szinte mindig az ő igazát bizonyította, s ebben az esetben mi is megtehetjük ezt saját megelégedésünkre túlságo-

san nagy erőfeszítés nélkül. Ne feledjük, feltételeztük, hogy a mikroszkóp már eleve szinte tökéletesen élesre van állítva. Tegyük fel, hogy a lencse egy kicsit lejjebb van, mint ahogy a tökéletes élességhez kellene, mondjuk 2 milliméterrel közelebb van a kelleténél a lemezhez. Ha egy kicsit, mondjuk 0,2 milliméternyit elmozdítjuk véletlenszerű irányban, mi az esélyünk arra, hogy az élesség javulni fog? Nos, ha történetesen 0,2 milliméternyit *lefelé* mozdítjuk el, akkor az élesség romlik. Ha véletlenül 0,2 milliméternyit *felfelé* mozdítjuk, akkor az élesség javul. Mivel véletlenszerű irányban mozdítjuk el, e két eshetőség mindegyike 50%-os valószínűségű. Minél kisebb a finomító mozdulat a kezdeti hibához viszonyítva, annál közelebb lesz a javulás esélye az 50%-hoz. Ezzel kiegészítettük Fisher állítása második részének igazolását.

Am most tételezzük föl, hogy nagy mozgást végzünk a mikroszkóp tubusával – ami megfelel egy makromutációnak – ugyancsak véletlenszerű irányban; mondjuk mozdítsuk el 2 centiméternyit. Ekkor nem számít, melyik irányban mozdítjuk, felfelé vagy lefelé, az élesség mindenképpen rosszabb lesz, mint volt. Ha történetesen lefelé mozdítjuk el, akkor most már 2,2 centiméterrel lesz távolabb az ideális helyzettől (és valószínűleg átfúrja a tárgylemezt). Ha véletlenül fölfelé mozdítjuk el, akkor most 1,8 centiméterrel távolodik el az eszményi helyzettől. Mozdulatunk előtt csupán 2 milliméternyire volt az ideális helyzettől, így „makromutációs” nagy mozdulatunk, akármelyik irányba tettük is, rossz dolog volt. Számításunkat nagyon nagy mozdulatra („makromutáció”) és nagyon kis mozdulatra („mikromutáció”) végeztük el. Ezeket a számításokat nyilvánvalóan köztes nagyságú mozdulatokkal is elvégezhetjük, de ennek nincs értelme. Azt hiszem, most már csakugyan eléggé világos, hogy minél kisebb a mozdulatunk, annál jobban közelítjük azt a szélső esetet, amelyben a javulás esélye 50%-os; és minél nagyobb a mozdulatunk, annál jobban közelítjük azt a szélső esetet, amelyben a javulás esélye zero.

Az olvasó bizonyára észrevette, hogy ez az érvelés azon a kiinduló feltételre alapszik, hogy a mikroszkóp már jócskán közel volt a fókuszponthoz, amikor mi elkezdtuk véletlenszerű finomításainkat. Ha a mikroszkóp induláskor 5 cm-re van az élesség pontjától, akkor a javulás esélye ugyanúgy 50% a 2 cm-es véletlenszerű változtatás esetében, mint a 2 mm-es változtatásnál. Ez esetben a „makromutációnak”, úgy tűnik, az az előnye, hogy a mikroszkópot hamarabb eljuttatja az élesség pontjába. Fisher érve ekkor természetesen a mondjuk 15 cm-es véletlen irányú „megamutációkra” lesz érvényes.

Miért feltételezheti Fisher, hogy a mikroszkóp már eleve közel állt az élesség pontjához? A feltevés a mikroszkópnak az analógiában játszott szerepéből következik. A mikroszkóp a véletlenszerű finomítás utáni állapotban a mutáns állapotot helyettesíti. A véletlenszerű finomítás előtti állapotban pedig a feltételezett mutáns állat normális, nem mutáns szülőjét. Mivel a szülő szükségképpen elég sokáig életben maradt ahhoz, hogy szaporodjék, nem lehet olyan túlságosan távol a helyes beállítástól. Ugyanezen

az alapon a mikroszkóp a véletlenszerű eltekerés előtt nem lehetett túlságosan távol a fókuszponttól, mert különben az állat, amelynek analógiájaként szerepel, egyáltalán nem maradhatott volna életben. Csupán analógiáról van szó, s így nincs értelme azon vitázni, vajon a „túlságosan távol” 2 cm-t, 2 mm-t vagy 0,2 mm-t jelent-e. A lényeg az, hogy ha egyre növekvő nagyságú mutációkat vizsgálunk, akkor elérünk ahhoz a ponthoz, amikor mennél nagyobb a mutáció, annál kisebb a valószínűsége, hogy az állat javára válik; ha pedig egyre csökkenő mutációkkal dolgozunk, akkor elérünk ahhoz a ponthoz, amittől kezdve a javító mutáció esélye 50%.

A vita tehát arról, hogy az olyan makromutációk, mint például a csáplábúság, lehetnek-e valaha is előnyösek (vagy legalábbis nem ártalmasak), s ennél fogva előidézhetnek-e evolúciós változást, a körül forog, hogy *mennyire* „makro” az a mutáció, amit vizsgálunk. Mennél „makróbb”, annál nagyobb valószínűséggel káros, s annál kisebb valószínűséggel kerül bele a faj evolúciójába. Voltaképpen a genetikai laboratóriumokban tanulmányozott összes mutáció – amelyek eléggé makrók, máskülönben a genetikusok nem vennék észre őket – káros az őt hordozó állatokra nézve (ironikus, hogy találkoztam emberekkel, akik azt hitték, ez érv a darwinizmus *ellen!*). Fisher mikroszkóperve tehát az egyik okunk arra, hogy kételkedjünk az evolúció szaltációs elméleteiben, legalábbis azok szélsőséges formáiban.

Az igazi szaltáció iránti hitetlenségünk másik általános oka ugyancsak statisztikai, ereje pedig szintén mennyiségileg függ attól, hogy *mennyire* makro az a makromutáció, amelyet posztulálunk. Ebben az esetben az evolúciós változások összetettségéről van szó. A bennünket érdeklő evolúciós változások közül sok, bár nem az összes, a konstrukció összetettségében mutat előrehaladást. A szem szélsőséges példája, amit a korábbi fejezetekben már tárgyaltunk, rávilágít mondanivalónkra. A mi szemünkhöz hasonló szemű állatok olyan őseiktől származnak, amelyeknek egyáltalán nem volt szemük. A szélsőséges szaltacionista azt állítaná, hogy az evolúció egyetlen mutációs lépésben zajlott le. A szülőnek egyáltalán nem volt szeme, csupán a pusztá bőr, ahol a szem lehetne. Torz utóda született tökéletesen kifejlett szemmel, változtatható fókuszú lencsékkel, lezárható pupillájú szivárványhártyával, milliányi háromszínű fotocellával felszerelt retinával, és az agyhoz megfelelően kapcsolt összes ideggel, amelyek lehetővé teszik számára a helyes, binokuláris, színes térlátást.

A biomorfmodellben feltételeztük, hogy az efféle sokdimenziós tökéletesedés nem fordulhat elő. Idézzük fel újra, miért volt ez ésszerű feltevés: hogy szem alakuljon ki a semmiből, ahhoz nem csupán egyetlen tökéletesítésre van szükség, hanem nagyszámú tökéletesítésre. Bármelyik ilyen tökéletesítés már önmagában is eléggé valószínűtlen, de nem annyira valószínűtlen, hogy egyúttal lehetetlen lenne. Mennél nagyobb számú egyidejű tökéletesítést veszünk számba, annál valószínűtlenebb lesz szimultán előfordulásuk. Egyidejű előfordulásuk egybeesése egyenértékű egy nagy távolság átugrásával biomorfföldön, és azzal, hogy véletlenül egy adott, előre eltervezett helyen

érjünk földet. Ha kellőképpen nagyszámú tökéletesítést veszünk számításba, akkor ezek együttes előfordulása annyira valószínűtlenné válik, hogy minden értelmes szándékunk és célunk szempontjából lehetetlennek tekinthető. Ezt az érvet már kellőképpen kifejtettük, de talán hasznos lesz különbséget tennünk a hipotetikus makromutáció két típusa között, ugyanis az összetettségi érv *látszólag* mindkettőt kizárja, valójában azonban csupán az egyiket zárja ki. Később megvilágítandó okokból Boeing 747-es makromutációknak és megnyújtott DC8-as makromutációknak fogom őket nevezni.

A Boeing 747-es makromutációk azok, amelyeket valóban kizár az imént adott összetettségi érv. A név onnan származik, hogy a csillagász, Sir Fred Hoyle, emlékezetes módon félreértette a természetes szelekció elméletét. A természetes szelekciót, s annak állítólagos valószínűtlenségét ahhoz az esethez hasonlította, amikor egy ócskavastelepen keresztülfújó hurrikán véletlenül összeállít egy Boeing 747-est. Amint az 1. fejezetben láttuk, ez tökéletesen hamis analógia a természetes szelekcióra, ugyanakkor nagyon jó analógia arra az elgondolásra, hogy bizonyos típusú makromutáció előidéző evolúciós változást. Valóban, Hoyle alapvető tévedése, hogy tulajdonképpen azt gondolta (anélkül, hogy fölismerte volna): a természetes szelekció *csakugyan* a makromutáción alapszik. Az az elgondolás, hogy egyetlen makromutáció tökéletesen működő szemet alakíthat ki az imént felsorolt tulajdonságokkal ott, ahol korábban csupán mezítelen bőr volt, valóban körülbelül annyira valószínűtlen, mint hogy egy hurrikán összeszerel egy Boeing 747-est. Ezért nevezem a hipotetikus makromutációnak ezt a fajtáját Boeing 747-es makromutációnak.

A megnyújtott DC8-as makromutációk olyan mutációk, amelyek bár hatásai nagyságában esetleg nagyok, összetettségük tekintetében azonban nem. A nyújtott DC8-as olyan repülőgép, amelyet a DC8-as korábbi típusából módosítottak. Olyan, mint egy DC8-as, de a törzsét meghosszabbították. Legalábbis egy szempontból tökéletesebb is: több utast tud szállítani, mint az eredeti. A nyújtás a hosszúság jelentős növekedéséhez vezet, s ebben az értelemben analóg egy makromutációval. Ami érdekesebb, hogy a hosszönvekedés első pillantásra bonyolult. Egy utasszállító repülőgép törzsének meghosszabbításához nem elegendő egy további darab kabincsovet beilleszteni. Megszámálhatatlan vezetéket, kábelt, légcsovet és elektromos huzalt kell meghosszabbítani. Rengeteg ülést, hamutartót, olvasólámpát, 12-csatornás műsorkiválasztót és frisslevegő-befúvót kell még beépíteni. Első látásra sokkal bonyolultabb a nyújtott DC8-as, mint az eredeti, de valóban így van ez? A válasz nem, legalábbis abban az értelemben nem, hogy a nyújtott repülőgép „új” dolgai csupán „több ugyanabból a régeből”. A 3. fejezet biomorfjai gyakran mutattak nyújtott DC8-as típusú makromutációkat.

Mi köze ennek a valódi állatok mutációihoz? A válasz az, hogy bizonyos valódi mutációk okozhatnak nagy változásokat, amelyek nagyon hasonlóak a DC8 és a nyújtott DC8 közötti különbséghez, s hogy ezek némelyike,

jóllehet bizonyos értelemben „makromutáció”, határozottan belekerült az evolúcióba. A kígyóknak például sokkal több csigolyájuk van, mint őseiknek. Ebben akkor is biztosak lehetnénk, ha nem volnának ezt alátámasztó kövületek, mivel a kígyóknak sokszorta több csigolyájuk van, mint élő rokonaiknak. Sőt, a kígyók különböző fajainak eltérő számú csigolyájuk van, ami azt jelenti, hogy a csigolyák száma bizonyára változott közös ősük óta az evolúció során, mégpedig elég gyakran.

Ahhoz, hogy egy állat gerinccsigolyáinak számát megváltoztassuk, sokkal többre van szükség, mint hogy további csontokat illesszünk be. Minden csigolyához egy sor ideg, ér, izom stb. kapcsolódik, ugyanúgy, ahogy egy utasszállító repülőgépen minden ülésorhoz egy sor párna, fejtámla, fejhallgató, dugaszolóalj, olvasólámpa a hozzá tartozó kábelekkal stb. kapcsolódik. A kígyó testének középső része, ugyanúgy, ahogy az utasszállító repülőgép testének középső része, egy sor *szegmensből* épül föl, amelyek közül sok pontosan megegyezik egymással, egyedileg bármennyire összetettek legyenek is. Éppen azért új szegmensek hozzáadásához mindössze arra van szükség, hogy az állat egyszerűen megkettőzze őket. Mivel már létezik egy kígyószegmens előállításához szükséges genetikai gépezet – nagyon bonyolult genetikai gépezet, amelynek lépésről lépésre, fokozatosan való kifejlődéséhez sok nemzedékre volt szükség –, további azonos szegmensek könnyen hozzáadhatók egyetlen mutációs lépésben is. Mivel a géneket „A fejlődő embriónak szóló utasításokként” könyveljük el, a többlet szegmensek beszúrására vonatkozó utasítást egyszerűen így olvashatjuk: „Ide ugyanabból még”. El tudom képzelni, hogy az első nyújtott DC8-as felépítésének utasításai némileg hasonlóak voltak.

Bizonyosak lehetünk benne, hogy a kígyók evolúciójában a gerinccsigolyák száma egész számokkal változott, és nem törtekkel. Nem tudunk elképzelni 26,3 csigolyás kígyót. Vagy 26 van neki, vagy 27, és nyilvánvaló, hogy kellett lennie olyan eseteknek, amikor a kígyóutódnak legalább egy egész csigolyával több volt, mint a szüleinek. Ez egy egész készlettel többlet jelent az idegekből, a véredényekből, az izomkötegekből stb. Bizonyos szempontból tehát ez a kígyó makromutáns, de csak a gyengébb „nyújtott DC8-as” értelemben. Nem nehéz elninni, hogy szüleiknél több tucattal több csigolyájú kígyóegyedek egyetlen mutációs lépéssel is keletkezhetnek. A szaltációs evolúcióval szembeni „összetettségi érv” nem áll a nyújtott DC8-as makromutációkra, mivel ezek, ha a szóban forgó változás részleteit tekintjük, akkor valójában egyáltalán nem igazi makromutációk. Csak akkor makromutációk, ha naiv módon a kész végterméket, a felnőttet nézzük. Ha az embrionális fejlődés *folyamatait* vesszük szemügyre, akkor kiderül, hogy mikromutációk, abban az értelemben, hogy csupán az embrionális *utasítások* kis változása okozott nagy, látható hatást a felnőttben. Ugyanez érvényes a gyümölcslegyek csáplábúságára, és sok más úgynevezett „homeotikus mutációra”.

Ezzel zárom a makromutációval és a szaltációs evolúcióval kapcsolatos

kitérőmet. Szükség volt rá, mert a szaggatott egyensúlyok elméletét gyakran keverik össze a szaltációs evolúcióval. Am mégis kitérő volt, mivel a szaggatott egyensúlyok elmélete a fő témája ennek a fejezetnek, márpedig ennek az elméletnek semmiféle igazi kapcsolata nincs a makromutációval és a valódi szaltációval.

Azoknak a hézagoknak tehát, amelyekről Eldredge és Gould, valamint a többi punktualista beszél, semmi közük sincs az igazi szaltációhoz, és sokkal-sokkal kisebb hézagok, mint amelyek a teremtés híveit úgy föllekesítik. Eldredge és Gould eredetileg nem is úgy vezették be elméletüket, hogy az radikálisan és forradalmi módon szemben állna a közönséges, hagyományos darwinizmussal – ahogy azután később eladták –, hanem olyasmiként, ami a helyesen felfogott, régesrég elfogadott, hagyományos darwinizmusból *következik*. Hogy ehhez a helyes megértéshez eljussunk, attól tartok, újabb kitérőt kell tennünk, ezúttal ahhoz a kérdéshez, miként keletkeznek az új fajok, azaz a fajok „eredetének” folyamatához.

Darwin válasza a fajok eredetére általánosságban az, hogy a fajok más fajoktól származtak le. Továbbá az élet családfája elágazik, ami azt jelenti, hogy egynél több mai faj vezethető vissza egyetlen egyre. Például az oroszlanok és a tigrisek ma különböző fajok tagjai, de mindkettő egyetlen ősfajból származott le valószínűleg nagyon régen. Ez a felmenő faj lehetett a két mai faj egyike; de lehetett egy harmadik mai faj; vagy lehet, hogy ma már kihalt. Hasonlóképpen az ember és a csimpánz ma egyértelműen különböző fajba tartozik, őseik azonban néhány millió évvel ezelőtt egyetlen fajt alkottak. A *speciáció* az a folyamat, amely által egyetlen fajból két faj lesz, s ezek közül az egyik azonos lehet az eredeti, egyetlen fajjal.

A speciációt a következők miatt tartják nehéz problémának. A feltételezett ősfaj összes tagja képes egymással utódot nemzeni: valóban, sokak számára éppen ezt *jelenti* az „egyetlen faj” kifejezés. Ezért valahányszor egy új faj jelenik meg, rögtön veszélybe kerül az egymással való utódnemzés miatt. El tudjuk képzelni, hogy az oroszlanok ősei és a tigrisek ősei nem képesek egymástól szétválni, mivel folyamatosan keverednek egymással, s ennél fogva hasonlóak maradnak egymáshoz. Mellékesen, ne akadjunk fönn nagyon a „nem képesek” jellegű szavak használatán, mintha az oroszlan- és tigriselődök valamilyen értelemben el akarnának válni egymástól. Egyszerűen arról van szó, hogy a faj nyilvánvalóan szétvált az evolúció során, és első pillantásra az egymással való utódnemzés ténye megnehezíti számunkra e szétválás mikéntjének megértését.

Szinte bizonyosnak látszik, hogy a nyilvánvaló válasz az alapvetően helyes válasz erre a kérdésre. Nem jelent problémát az egymással való utódnemzés, ha az oroszlanelődök és a tigriselődök történetesen a világ más-más részén vannak, ahol nem tudnak egymással utódokat nemzeni. Természetesen nem arról van szó, hogy más kontinensre vándorolnak avégett, hogy a faj szétválhasson: nem gondolnak oroszlanelődökként és tigriselődökként saját magukra! De ha már a közös elődfaj amúgy is különböző

földrészekre szóródott szét, mondjuk Afrikába és Ázsiába, akkor azok, amelyek történetesen Afrikában vannak, most már többet nem nemzhetnek utódokat azokkal, amelyek történetesen Ázsiába kerültek, mivel sosem találkoznak velük. Ha tehát bármiféle tendencia mutatkozik arra, hogy a két kontinensen élő állatok más-más irányba fejlődjenek, akár a természetes szelekció hatása alatt, akár véletlenül, az egymással való utódnemzés többé nem jelent akadályt szétválásuk számára, s így végül is két külön fajjá alakulhatnak.

A jobb érthetőség kedvéért beszéltem különböző földrészekről, de a földrajzi elkülönülés mint az egymással való utódnemzés akadályának elve érvényes lehet olyan állatokra is, amelyek egy sivatag, egy hegyvonulat, egy folyó vagy akár egy autópálya két oldalán élnek. Érvényes ez olyan állatokra is, amelyeket semmi más akadály nem választ el egymástól, mint a pusztai távolság. A spanyolországi cickányok nem nemzhetnek utódot a mongóliai cickányokkal, és így evolúciós értelemben elválhatnak a mongóliai cickányoktól még akkor is, ha egymással utódokat nemző cickányok megszakítás nélküli láncá kapcsolja össze Spanyolországot Mongóliával. Mindazonáltal a földrajzi elkülönülés, mint a speciáció kulcsa, világosabb lesz, ha tényleges fizikai akadályokban, például tengerben vagy hegyvonulatban gondolkodunk. A szigetláncolatok valószínűleg valóban kitűnő melegágyai az új fajok keletkezésének.

Íme hát óhitű neodarwinista képünk arról, hogy a tipikus faj miként születik szétválással egy elődfajból. Az elődfajból indulunk ki, meglehetősen egyöntetű, egymással kölcsönösen utódokat nemző állatok nagy népségéből, amely nagy földterületen terjedt el. Lehetnek akármilyen állatok, de most már maradjunk a cickányoknál. A földterületet kettőbe vágja egy hegyvonulat. Ez ellenséges vidék a cickányok számára, így nem valószínű, hogy átvágnak rajta, de nem is teljesen lehetetlen, és nagyrítkán néhány állat a túloldali síkságon lyukad ki. Itt jó életkörülményekre lelnek és létrehozzák a faj távolra szakadt népségét, amely el van vágva a fő populációtól. A két népség most külön-külön szaporodik, génjeik keverednek a hegy mindkét oldalán, de a hegyen át nem. Az idők folyamán az egyik népség genetikai összetételében beállott változások elterjednek az adott populációban, de nem terjednek át a másik populációra. Ezeket a változásokat létrehozhatja a természetes szelekció, amely eltérhet a hegyvonulat két oldalán: aligha várhatjuk, hogy az időjárási feltételek, a ragadozók és az élősködők pontosan azonosak legyenek a két oldalon. A változások némelyike egyedül a véletlennek tulajdonítható. Bármi is legyen a genetikai változások oka, az utódnemzéssel szétterjednek a két populáción *belül*, de nem a két populáció *között*. A két népség tehát genetikailag szétválak: egyre inkább eltérnek egymástól.

Egy idő után annyira különbözőek lesznek, hogy a természettudósok különböző alfajokhoz tartozóként osztályozzák őket. Hosszabb idő után annyira szétválnak, hogy most már más-más fajként kell osztályoznunk

őket. Mármost képzeljük el, hogy az éghajlat felmelegszik, s így könnyebbé válik az utazás a hegyeken át, és az új faj néhány példánya elkezd visszaszivárogni ősei földjére. Amikor találkoznak rég nem látott unokatestvéreik leszármazottaival, kiderül, hogy genetikai felépítésük azóta annyira megváltozott, hogy többé nem tudnak egymással sikeresen utódokat nemzeni. Ha erre mégis sor kerülne, akkor az utódok betegesek lennének vagy terméketlenek, mint az őszvérek. Így a természetes szelekció megbünteti minden hajlandóságot akármelyik oldal egyedei részéről a hibridizációra más fajokkal vagy akár alfajokkal. A természetes szelekció ezáltal befejezi a szaporodási izoláció folyamatát, amely a hegyoldal véletlenszerű közreműködésével vette kezdetét. A speciáció befejeződött. Most már két fajunk van ott, ahol korábban csak egy volt, s a két faj együtt tud élni ugyanazon a területen anélkül, hogy egymással kereszteződnenek.

A valóságban az a valószínű, hogy a két faj nem fog sokáig együtt élni. Ennek nem az az oka, hogy kereszteződnek, hanem az, hogy versengenek. Az ökológiának általánosan elfogadott elve, hogy két azonos életmódú faj nem él együtt hosszú ideig egy helyen, mivel versengenek egymással, és az egyik vagy a másik előbb-utóbb kihal. Persze lehetséges, hogy két cickánypopulációnknak már nem azonos az életmódja; például lehetséges, hogy az új faj a hegy másik oldalán lezajlott evolúcióban egy másféle rovarra specializálódott. De ha jelentős a verseny a két faj között, akkor a legtöbb ökológus arra számít, hogy egyik vagy másik faj kihal a közös területen. Ha történetesen az eredeti elődfaj hal ki, akkor azt mondjuk, hogy az új bevándorló faj átvette a helyét.

A kezdeti földrajzi elkülönülésből eredő speciáció elmélete már régóta a főárambeli, óhitű neodarwinizmus sarokköve, és az összes fél ma is elfogadja, hogy ez az a fő folyamat, amely által új fajok létrejönnek (néhányek úgy gondolják, hogy vannak továbbiak is). A mai darwinizmusba nagyrészt a kiváló zoológus, Ernst Mayr befolyásának köszönhetően került bele. A punktualisták, amikor először felvetették elméletüket, a következő kérdést tették föl maguknak: feltéve, hogy a legtöbb mai darwinistához hasonlóan elfogadjuk azt az ortodox elméletet, hogy a speciáció a földrajzi elszigeteltségből indul ki, mire kell számítanunk az őseletekben? Idézzük fel a cickányok hipotetikus népességét, ahol az új faj a hegyvonulat távolabbi oldalán válik le, majd végül visszatér ősei földjére, és nagyon is lehetséges, hogy az elődfajt kihalásra ítéli. Tegyük föl, hogy ezeknek a cickányoknak maradtak kövületeik; tegyük föl azt is, hogy a leletek *tökéletesek*, nincs közöttük hézag, amely kulcsfontosságú szakaszok szerencsétlen kimaradásából eredhetne. Mire kellene számítanunk az ilyen leletek láttán? Egyenletes átmenetre az elődfajoktól az utódfajokig? Semmiképpen sem, legalábbis ha azon a földterületen ásunk, ahol az eredeti elődcickányok éltek, s ahova az új faj visszatért. Gondoljunk arra, mi történt ezen a helyen. Ott voltak az elődcickányok, boldogan éltek és sokasodtak, és nem volt különösebb okuk a változásra. El kell ismernünk, unokatestvéreik a hegység túloldalán

nagyban fejlődtek, az ő leleteik azonban a túloldalon találhatók, és mi nem bukkanhatunk rájuk a fő területen, ahol ásunk. Azután hirtelen (persze földtani léptékkal hirtelen) az új faj visszatér, megküzd a fő fajjal és esetleg átveszi a helyét. A kövületek, amelyekre a fő földterület rétegeiben fölfelé haladva bukkanunk, egyszersak megváltoznak. Korábban az összes az elődfajhoz tartozott. Most hirtelen és látható átmenet nélkül az új faj kövületei tűnnek elő, a régi faj leletei pedig eltűnnek.

A hézagok távolról sem bosszantó tökéletlenségek vagy zavaró kellemetlenségek, hanem pontosan erre kell *számítanunk*, ha komolyan vesszük a speciáció óhitű neodarwinista elméletét. Hogy az átmenet az elődfajról az utódfajra hirtelennek és ugrásszerűnek látszik, annak egyszerűen az az oka, hogy amikor egyetlen helyen vizsgáljuk a leletek sorozatát, akkor valószínűleg egyáltalán nem *evolúciós* eseményt vizsgálunk: *vándorlási* eseménnyel van dolgunk, új fajnak egy másik földrajzi területről való megérkezésével. Minden bizonnyal voltak evolúciós jelenségek, és az egyik faj valóban kifejlődött, valószínűleg fokról fokra egy másikkól. De hogy a kövületekben dokumentált evolúciós átmenetet megláthassuk, ahhoz másutt kellene ásunk – ebben az esetben a hegység túloldalán.

Eldredge és Gould érvelését tehát szerényen Darwinnak és követőinek nyújtott segítségként is bemutathattuk volna, amellyel meg akarják menteni őket egy zavarbaejtő nehézségtől. Csakugyan, legalábbis részben így is mutatták be kezdetben. A darwinistákat mindig is nyugtalanította a leletek látszólag hézagos volta, és úgy tűnt, a tökéletlen bizonyítékok menedékéhez kénytelenek folyamodni. Maga Darwin írta:

„A geológiai leletek rendkívül tökéletlenek, s ez a tény nagyrészt magyarázza, miért nem találunk végtelenül sok változatot, amelyek összekötik az élet összes kihalt és létező formáját a legfinomabb fokozatos lépcsőkkel. Aki elveti a geológiai leletek természetének ezt a felfogását, az joggal veti el egész elméletemet.”

Eldredge és Gould fő üzenete ez lehetett volna: Ne aggódj Darwin, még ha a kövületek tökéletesek volnának is, akkor sem kellene finoman fokozatos haladást várnod, hacsak egyetlen helyen ásol, azon egyszerű oknál fogva, hogy az evolúciós változás nagy része valahol másutt folyt le! És tovább is mehettek volna, mondván: Darwin, amikor azt mondtad, hogy a leletek tökéletlenek, akkor alábecsülted őket. Nemcsak hogy tökéletlenek, hanem jó okunk van arra számítani, hogy éppen akkor *különlegesen* tökéletlenek, amikor kezdenek érdekesek lenni, éppen amikor az evolúciós változás zajlik; ennek részben az az oka, hogy az evolúció rendszerint másutt folyt, mint ahol leleteink többségét találjuk; részben pedig az, hogy még ha eléggé szerencsések volnánk is, és azon egyik félreeső helyen ásnánk, ahol az evolúciós változás zöme lezajlott, ez az evolúciós változás (noha továbbra is fokozatos) olyan rövid időt tesz ki, hogy rendkívül *gazdag* leletekre van szükségünk ahhoz, hogy egyáltalán nyomára bukkanjunk!

De nem, ehelyett úgy határoztak, különösen későbbi írásaikban, amelyeket lelkesen követtek az újságírók, hogy nézeteiket Darwinnal és a neodar-

winista szintézissel radikálisan *szembenállóként* adják el. Ezt ők azáltal érték el, hogy hangsúlyozták az evolúció darwinista felfogásának gradualista voltát, szemben a saját punktualizmusuk hirtelen, lökészerű, szórványos jellegével. Még analógiát is láttak, különösen Gould, saját maguk, valamint a „katasztrofizmus” és „szaltációnizmus” régi iskolái között. A szaltációnizmust már tárgyaltuk. A katasztrofizmus egy 18–19. századi próbálkozás volt arra, hogy összebékítsék a teremtés valamilyen formáját az őskori kőületekből származó kényelmetlen tényekkel. A katasztrofisták úgy vélték, hogy az őskori leletek látszólagos haladása valójában egy sor egymástól független teremtést tükröz, amelyek mindegyikének katasztrofászerű, tömeges kihalás vetett véget. A legutolsó ilyen katasztrófa Noé Özönvize volt.

Az összehasonlításoknak – egyfelől a modern punktualizmus, másfelől a katasztrofizmus vagy szaltációnizmus között – tisztán költői erejük van. Ezek, ha szabad egy paradoxont gyártanom, mélységesen felszínesek. Művészes, irodalmias módon imponálhatnak, de semmiben sem segítik a komoly megértést, és hamis támaszt és megnyugvást adhatnak a teremtés mai híveinek az amerikai oktatás és tankönyvkiadás fölforgatására irányuló, zavarbaejtően sikeres harcukhoz. A valóság az, hogy Eldredge és Gould a legteljesebb és legkomolyabb értelemben pontosan olyan gradualisták, mint Darwin vagy bármely követője. Arról van csupán szó, hogy a fokozatos változást rövid, lökészerű változásokba tömörítene, és hangsúlyozzák, hogy a fokozatos változások java része olyan földrajzi területeken folyik, amelyek távol esnek azoktól a helyektől, ahol a legtöbb őskori leletet kiásták.

Valójában tehát nem Darwin *gradualizmusával* állnak szemben a punktualisták: a gradualizmus azt jelenti, hogy minden egyes nemzedék csupán kissé különbözik az előző nemzedéktől; aki ezzel szemben áll, annak szaltációnistának kellene lenni, márpedig Eldredge és Gould nem szaltációnisták. Ehelyett kiderül, hogy ők és a többi punktualista Darwinnak azzal az állítólagos vélekedésével helyezkednek szembe, hogy az evolúció sebessége állandó. Ezt azért cáfolják, mert úgy gondolják, hogy az evolúció (de még mindig tagadhatatlanul gradualista evolúció) gyors ütemben zajlik viszonylag rövid tevékenységkitörések alatt (speciációs események folyamán, amelyek egyfajta válsághangulatot kínálnak, amelyben az evolúciós változással szembeni állítólagos szokásos ellenállás megtörik); és hogy a pangás hosszú, közbeeső időszakaiban az evolúció nagyon lassú vagy akár egyáltalán nem is zajlik. Természetesen, amikor azt mondjuk, hogy „viszonylag” rövid, akkor általában a geológiai időléptékhez képest értjük. Még a punktualisták evolúciós lépései is, noha földtörténeti léptékkel talán csak pillanatok, olyan időtartamot jelentenek, amit évtizedekben vagy -századokban mérünk.

Nagyon jól megvilágítja ezt a híres amerikai evolucionista, G. Ledyard Stebbins egy gondolata. Őt nem konkrétan a bakugrásos evolúció foglalkoztatja, hanem csupán azt a sebességet próbálja drámai módon megragadni, amellyel az evolúciós változás történhet, amikor a rendelkezésére álló

földtörténeti idő léptékéhez viszonyítjuk. Elképzel egy körülbelül egér méretű állatfajt. Ezután feltételezi, hogy a természetes szelekció elkezd a testméret növekedésének kedvezni, de csak nagyon-nagyon kicsit. Talán a nagyobb hímek csekély előnyt élveznek a nőtényekért folytatott versengésben. Az átlagos méretű hímek bármely időpillanatban egy picit kevésbé sikeresek, mint azok, amelyek egy csipetnyivel nagyobbak az átlagnál. Stebbins pontos számokkal fejezi ki azt a matematikai előnyt, amit hipotetikus példájában a nagyobb egyedek élveznek. Az értéket annyira icipicinek határozta meg, hogy emberi megfigyelő által nem mérhető. Az így előidézett evolúció változási sebessége pedig ennek folytán oly csekély, hogy egy közönséges emberi élettartam során észrevehetetlen volna. Az evolúciót a terepen tanulmányozó tudós nézőpontjából tehát ezek az állatok egyáltalán nem fejlődnek. Azért persze fejlődnek, nagyon lassan, a Stebbins matematikai feltevése által megadott ütemben, és még ezzel a lassú ütemmel is végül eléri az elefántok méretét. Mennyi időbe telik ez? Emberi léptékekkel nyilvánvalóan hosszú időbe, ám az emberi léptékek nem lényegesek. Földtörténeti időben gondolkozunk. Stebbins számításai szerint az általa feltételezett nagyon lassú evolúciós sebességgel az állatoknak körülbelül 12 000 nemzedékre van szükségük, hogy a 40 grammos átlagtömegből (egér méret) az átlagos 6 000 000 grammra (elefánt méret) növekedjenek. Ha nemzedékenként 5 évet veszünk, ami hosszabb egy egérnemzedéknél, de rövidebb az elefántnemzedéknél, akkor a 12 000 nemzedék körülbelül 60 000 évet tenne ki. A 60 000 év túlságosan *rövid* ahhoz, hogy az őskori leletek kormeghatározásához használt közönséges geológiai módszerekkel mérhető legyen. Stebbins szavaival: „Ha egy új állatfaj 100 ezer év vagy annál rövidebb idő alatt alakul ki, akkor azt a paleontológusok hirtelennek vagy pillanatszerűnek tekintik.”

A punktualisták nem úgy vélik, hogy az evolúcióban ugrások volnának, hanem viszonylag rövid evolúciós epizódokról beszélnek. S még ezeknek az epizódoknak sem kell rövideknek lenniük emberi léptékekkel ahhoz, hogy földtörténeti léptékekkel pillanatszerűnek tűnjenek. Bármit gondolunk is magáról a szaggatott egyensúlyok elméletéről, túlságosan könnyű összekeverni a gradualizmust (azt a vélekedést, amit a mai punktualisták éppúgy magukénak mondanak, mint Darwin, miszerint nincsenek hirtelen ugrások az egyik nemzedékről a másikra) az állandó evolúciós sebesség elvével (amivel a punktualisták szembehelyezkednek, és amit állítólag, de csak állítólag Darwin vallott). A kettő pedig egyáltalán nem ugyanaz. A punktualisták vélekedését helyesen így jellemezhetjük: „Gradualista, de benne a pangás (evolúciós stagnálás) hosszú időszakait megszakítják a gyors, fokozatos változás rövid epizódjai.” A hangsúly tehát a hosszú *pangási* időszakokon van, ez az a korábban észrevétlenül maradt jelenség, amely valójában magyarázatra szorul. A pangás hangsúlyozása a punktualisták valóságos tudományos teljesítménye, és nem az az állításuk, hogy szemben állnak a gradualizmussal, mivel épp oly igazi gradualisták, mint bárki más.

Kevésbé felnagyított formában még a pangás hangsúlyozását is megtaláljuk Mayr speciációs elméletében. Úgy vélte, hogy a két földrajzilag elkülönült faj közül kisebb a valószínűsége, hogy az eredeti nagy elődpopuláció változzék, mint hogy az új utódpopuláció (a hegység túloldalán a cickány példánk esetében). Nem csupán azért, mert az utódpopuláció az, amely új területekre költözött, ahol a feltételek valószínűleg eltérnek, és a természetes szelekció nyomása megváltozott. Azért is, mert vannak bizonyos elméleti okaink (melyeket Mayr hangsúlyozott, de amelyek fontossága vitatható), hogy azt gondoljuk, a nagy, egymással utódokat nemző populációknak benső hajlamuk van arra, hogy *ellenálljanak* az evolúciós változásnak. Alkalmas analógia a nagy, súlyos tárgyak tehetetlensége; nehéz őket elmozdítani. A kicsiny, távol eső populációk kicsinységüknek köszönhetően eleve nagyobb valószínűséggel változnak, fejlődnek – szól az elmélet. Ezért, noha én úgy beszéltem a két cickánypopulációról vagy fajtáról, hogy azok egymástól elválnak, Mayr inkább fogná fel az eredeti, elődpopulációt viszonylag statikusként, az új populációt pedig attól leágazóként. Az evolúciós fa nem két egyforma ágra válik szét: inkább egy törzs, amelyből oldalág sarjadzik.

A szaggatott egyensúly hívei átveszik Mayrnak ezt az elgondolását és azzá az erős hitté nagyítják föl, hogy a pangás vagy az evolúciós változás hiánya a norma a fajok számára. Úgy gondolják, hogy a nagy populációkban olyan genetikai erők léteznek, amelyek tevékenyen *ellenállnak* az evolúciós változásnak. Az evolúciós változás szerintük ritka esemény, amely egybeesik a speciációval. A speciációval abban az értelemben esik egybe, hogy, nézetük szerint, azok a feltételek, amelyek között új fajok alakulnak ki – kicsiny, elszigetelt, szűk populációk földrajzi elkülönülése – éppen azok a feltételek, amelyek között az evolúciós változások ellen normális körülmények között ellenálló erők meggyengülnek vagy alulmaradnak. A fajok kialakulása a felfordulás vagy forradalom ideje. S az ilyen felfordulások idejére összpontosul az evolúciós változás. Egy leszármazási vonal történetének nagy része stagnálás.

Nem igaz, hogy Darwin úgy hitte, az evolúció állandó sebességgel halad. Semmiképpen sem hitte abban a nevetségesen szélsőséges értelemben, ahogyan én pellengérre állítottam az Izrael gyermekeiről szóló parabolámban, de még azt sem hiszem, hogy bármilyen fontos értelemben hitt volna benne. A következő, jól ismert szakasz idézése *A fajok eredete* negyedik kiadásából (és későbbi kiadásaiból) felbosszantja Gouldot, mert úgy gondolja, nem jellemző Darwin általános felfogására:

„Sok faj, ha egyszer már kialakult, soha többet nem megy át további változáson...; s azok az időszakok, amelyek alatt a fajok módosuláson mentek át, noha hosszúak, ha években mérjük, valószínűleg rövidek azokhoz az időszakokhoz képest, amelyek alatt megtartották ugyanazon formájukat.”

Gould félre akarja söpörni az ilyen és hasonló mondatokat, mondván: „Nem írhatunk történelmet szelektív idézetekkel és finomító lábjegyzetek utáni

kutatással. Az általános mondanivaló és a történelmi hatás a helyes kritériumok. Olvasták valaha is Darwint akár kortársai, akár utódai szaltacionistaként?”

Gouldnak persze igaza van, ami az általános irányt és a történelmi hatást illeti, ám ennek az idézetnek az utolsó mondata nagyon leleplező nyelvbontás. *Hát persze*, hogy soha senki sem olvasta Darwint szaltacionistaként, és természetesen Darwin állhatos ellensége volt a szaltacionizmusnak, a lényeg azonban az, hogy nem szaltacionizmusról van szó, amikor a szaggatott egyensúlyt tárgyaljuk. Amint már hangsúlyoztam, a szaggatott egyensúly elmélete Eldredge és Gould saját fölfogása szerint sem szaltacionista elmélet. Az ugrások, amelyeket feltételez, nem valóságos, egy nemzedéknyi ugrások. Nagyszámú nemzedékre terjednek ki, mégpedig Gould saját becslése szerint évtizedekre rúgó időszakokon át. A szaggatott egyensúly elmélete gradualista elmélet, jóllehet hangsúlyozza, hogy hosszú pangási időszakok telnek el a gradualista evolúció *viszonylag* rövid kitörései között. Gouldot a saját retorikája vezette félre, amikor hangsúlyozta a tisztán költői vagy irodalmi hasonlatosságot a punktualizmus és a valódi szaltacionizmus között.

Azt hiszem ezen a ponton tisztázná a dolgokat, ha összefoglalnám az evolúció sebességére vonatkozó lehetséges álláspontok körét. Egyfelől van a nyíltan megvallott valódi szaltacionizmus, amelyet már kellőképpen meg-tárgyaltunk. Valódi szaltacionisták nincsenek a mai biológusok között. Mindenki, aki nem szaltacionista, gradualista, s ide tartozik Eldredge és Gould is, akárhogy is jellemzik saját magukat. A gradualizmuson belül különböző nézeteket különböztethetünk meg az evolúció (fokozatos) sebességéről. A vélekedések némelyike, mint láttuk, pusztán felszínes („irodalmi” vagy „költői”) hasonlatosságot mutat a valódi, antigradualista szaltacionizmussal, s ez az oka, hogy néha összekeverik a kettőt.

A másik véglet az a fajta „állandó sebességizmus”, amelyet az Exodus parabolában karikíroztam, ennek a fejezetnek az elején. A szélsőséges állandó sebességista abban hisz, hogy az evolúció egyenletesen és föltartóztathatatlanul cammog előre egyfolytában, akár folyik elágazás vagy speciáció, akár nem. Úgy véli, az evolúciós változás mennyisége szigorúan arányos az eltelt idővel. Ironikus módon az állandó sebességizmus egyik formája újabban nagy népszerűségnek örvend a modern molekuláris genetikusok között. Jól alátámasztható az a nézet, hogy a fehérjemolekulák szintjén zajló evolúciós változás csakugyan egyenletes sebességgel cammog előre, pontosan úgy, mint Izrael hipotetikus gyermekei; és ez *akkor is így van*, ha az olyan külső jellemzők, mint a karok és a lábak nagyon is szaggatott módon fejlődnek. Már találkoztunk ezzel a témával az 5. fejezetben, és még szó lesz róla a következőben. De ami a nagy léptékű struktúrák és viselkedési mintázatok alkalmazkodó evolúcióját illeti, jószerint az összes evolucionista elveti az állandó sebességizmust, Darwin pedig minden bizonnyal így tenne. Mindenki, aki nem állandó sebességista, az változó sebességista.

A változó sebességizmuson belül két nézetet különböztethetünk meg, amelyeket „diszkrét változó sebességizmusnak” és „folytonos változó sebes-

ségizmusnak” nevezünk. A szélsőséges diszkrétista nem csupán abban hisz, hogy az evolúció sebessége változik. Úgy gondolja, hogy a sebesség hirtelen vált át az egyik diszkrét szintről a másikra, mint az autó sebességváltója. Úgy is gondolhatja például, hogy az evolúciónak csupán két sebessége van: nagyon gyors és állj. (Nem tudom megállni, hogy ne idézzem föl az első iskolai, megalázó jellemzésemet, amit az osztályfőnöknőm írt hét éves koromban a ruhák összehajtogatásában, a hidegfürdőben és a kollégiumi élet más, mindennapos tevékenységeiben mutatott teljesítményemről: „Dawkinsnak csak három sebessége van: a lassú, a nagyon lassú és az állj.”) A „megállt” evolúció a pangás, ami a punktualisták szerint a nagy populációkat jellemzi. A csúcsebességű evolúció az, ami a speciáció folyamán a nagy, evolúciós szempontból stagnáló népességek peremén elszigetelt, kis populációkban zajlik. E nézet szerint az evolúció mindig e két sebesség egyikében van, sohasem a kettő között. Eldredge és Gould a diszkrétizmus felé hajlanak, s e tekintetben valóban radikálisok. „Diszkrétén változó sebességistáknak” nevezhetnénk őket. Mellékesen nincs semmi *különleges* oka annak, hogy egy diszkrét változó sebességista szükségképpen a speciációt jelölje meg a nagy sebességű evolúció idejének. A gyakorlatban azonban a legtöbben ezt teszik.

A „folytonos változó sebességisták” másrészt úgy hiszik, hogy az evolúció sebessége folytonosan ingadozik a nagyon gyorstól a nagyon lassúig és az álló helyzetig, beleértve az összes köztes sebességet is. Nincs semmi különleges okunk bizonyos sebességeknek nagyobb hangsúlyt adni, mint másoknak. Konkrétan, a pangás számunkra csupán a rendkívül lassú evolúció egyik szélsőséges esete. A punktualista számára van valami különleges a pangásban. A pangás az ő szemében nem csupán annyira lassú evolúció, hogy a sebessége zéró: a pangásban nem egyszerűen hiányzik az evolúció, mert nincs változást elősegítő hajtóerő. A pangás szó mindig az evolúciós változással szembeni tényleges *ellenállást* reprezentál. Szinte mintha úgy képelnénk el, hogy a fajok az evolúció hajtóerőivel *szemben* aktív lépéseket tesznek annak érdekében, hogy *ne* fejlődjenek.

Több biológus ért egyet a pangás valóságos voltában, mint okaiban. Vegyük szélsőséges példa gyanánt a Coelacanthidae családba tartozó Latimeriát (bojtosúszós halat). E család tagjai „halak” nagy csoportját alkották (jóllehet halaknak hívjuk őket, közelebbi rokonságban állanak velünk, mint a pisztrángokkal vagy a heringekkel), amely család több mint kétszázmillió évvel ezelőtt élte virágkorát, és látszólag a dinoszauruszokkal egy időben kihalt. Azt mondom „látszólag” kihalt, mert 1938-ban a zoológus világ megdöbbenésére egy furcsa halat találtak a dél-afrikai partok mentén egy mélytengeri halászhajó hálójában, amely majdnem másfél méter hosszú volt, és szokatlan, lábszerű úszói voltak. Bár kis híján elpusztították, mielőtt felbecsülhetetlen értékét felismerték volna, még éppen időben hívták fel egy szakképzett dél-afrikai zoológus figyelmét. Alig hitt a szemének, amikor egy élő Coelacanthidát határozott meg, és elnevezte *Latimeriának*. Azóta néhány további példányt is kihalásztak ugyanezen a területen, s a fajt most

már kellőképpen megvizsgálták és leírták. Élő kövület abban az értelemben, hogy szinte alig változott több száz millió évvel ezelőtt élt elődei óta.

Íme tehát a pangás. Mi derül ki ebből? Miként magyarázzuk meg? Vannak köztünk, akik azt mondanák, a Latimeriához vezető leszármazási vonal azért maradt mozdulatlan, mert a természetes szelekció nem mozgatta meg. Bizonyos értelemben nem volt „szükség” a fejlődésre, mivel ezek az állatok sikeres életmódra letek a tenger mélyén, ahol a feltételek nem sokat változtak. Talán sohasem vettek részt fegyverkezési versenyben. Unokatestvéreik, amelyek kijöttek a szárazföldre, azért fejlődtek, mert a természetes szelekció kényszerítette őket különféle ellenséges feltételekkel, egyebek közt fegyverkezési versennyel. Más biológusok, köztük néhányan azok közül, akik magukat punktualistáknak nevezik, azt mondanák, hogy a mai Latimeriához vezető leszármazási vonal aktívan ellenállt a változásnak a lehetséges természetes szelekciós nyomás ellenében. Kinek van igaza? A Latimeria konkrét esetében ezt nehéz megmondani, egy mód azonban kínálkozik arra, hogy elvben kiderítsük a választ.

A méltányosság kedvéért gondolatainkat ne a Latimeria segítségével fejtsük ki. Megkapó példa, de nagyon szélsőséges, és nem olyan, amire a punktualisták szívesen támaszkodnának. Nézetük szerint a pangás kevésbé szélsőséges, rövidebb távú példái mindennaposak, sőt ez a norma, mivel a fajoknak olyan genetikai mechanizmusaik vannak, amelyek aktívan ellenállnak a változásnak, még ha a természetes szelekció erői erre ösztökélik is őket. Itt van az a nagyon egyszerű kísérlet, amellyel legalábbis elvben ellenőrizhetjük ezt a hipotézist. Megtehetjük, hogy veszünk vad populációkat, és a saját szelekciós erőinket kényszerítjük rájuk. Aszerint a hipotézis szerint, hogy a faj aktívan ellenáll a változásnak, azt kell tapasztalnunk, hogy ha valamilyen tulajdonságot próbálunk kitenyészteni, akkor a faj mintegy megveti a lábát, és nem hajlandó moccanni, legalábbis egy ideig. Ha vesszük a tehenet, és megpróbáljuk a magas tejhozam irányába tenyészteni, akkor kudarccal kell járnunk. A faj genetikai mechanizmusainak mozgósítaniuk kell antievolúciós erőiket és vissza kell verniük a változás irányába ható nyomást. Ha el akarjuk érni, hogy a csirkék nagyobb tojáshozam felé fejlődjenek, akkor kudarccal kell járnunk. Ha a bikaviadorok vitatható „sportjuk” üzéséhez fokozni kívánják bikáik bátorságát szelektív tenyésztéssel, akkor kudarccal kell járniuk. Ezek a kudarcok természetesen csupán átmenetiek lesznek. Végül is mint a nyomás alatt átszakadó gát, az állítólagos evolúcióellenes erők alulmaradnak, s a leszármazási vonal ezután gyorsan halad egy új egyensúly felé. De legalábbis valamennyi ellenállást tapasztalnunk kell, amikor először kezdeményezzük a szelektív tenyésztés valamilyen új programját.

A helyzet természetesen az, hogy nem vallunk kudarcot, amikor megpróbáljuk az evolúciót fogságban tartott állatok és növények szelektív tenyésztésévé formálni, és nem is tapasztalunk kezdeti nehézségeket. Az állat- és növényfajok rendszerint azonnal készek a szelektív tenyésztés számára, s a

tenyésztők nem tapasztalnak semmiféle benső, antievolúciós erőkre valló jeleket. Ha a szelektív tenyésztők bármi nehézséget is tapasztalnak, akkor az éppen többnemzedéknyi sikeres szelektív tenyésztés *után* áll elő. Ennek az az oka, hogy néhány nemzedéknyi szelektív tenyésztés után a rendelkezésre álló genetikai változékonyság kimerül, és várnunk kell új mutációkra. Elképzelhető, hogy a Coelacanthidák azért hagyták abba a fejlődést, mert abbahagyták a mutációt – talán azért, mert védve voltak a kozmikus sugárzástól a tenger fenekén! –, tudtommal azonban ezt senki sem vetette fel komolyan, és semmiképpen sem erre gondolnak a punktualisták, amikor a fajok evolúciós változással szembeni beépített ellenállásáról beszélnek.

Ők inkább valami olyasmire gondolnak, mint amit a 7. fejezetben az együttműködő génekről mondtam: arra az elképzelésre, hogy géncsoportok annyira jól alkalmazkodtak egymáshoz, hogy ellenállnak az olyan új mutáns gének behatolásának, amelyek nem tagjai a „klubnak”. Ez bizony eléggé kifinomult elgondolás, és nagyon ésszerűnek hangzik. Csakugyan, ez volt Mayr már említett tehetetlenségi elvének egyik elméleti kelléke. Mindazonáltal az a tény, hogy valahányszor szelektív tenyésztéssel próbálkozunk, nem találkozunk kezdeti ellenállással, számomra azt mondja, hogy ha a leszármazási vonalak sok nemzedéken át változatlanok maradnak, akkor ennek nem az az oka, hogy ellenállnak a változásnak, hanem az, hogy nincs a változásnak kedvező, természetes szelekciós nyomás. Azért nem változnak, mert azoknak az egyedeknek, amelyek ugyanazok maradnak, jobbak az életben maradási esélyeik, mint azoknak az egyedeknek, amelyek változnak.

A punktualisták tehát a valóságban épp olyan gradualisták, mint Darwin vagy bármelyik darwinista; csupán hosszú pangási időszakokat iktatnak a fokozatos evolúció kitörései közé. Mint mondtam, a punktualisták valójában egyetlen tekintetben különböznek a darwinizmus más iskoláitól, mégpedig abban, hogy a pangást valami pozitív dologként ragadják meg: aktív ellenállásként az evolúciós változással szemben, és nem egyszerűen az evolúciós változás hiányaként. És nagyon valószínű, hogy éppen ebben a tekintetben tévednek. Azt a rejtélyt kell még tisztáznom, miért *gondolták*, hogy olyannyira távol állnak Darwintól és a neodarwinizmustól.

A válasz a „fokozatos” szó két jelentésének összekeverésében rejlik, s ehhez társul az a zavar, amelynek elosztatására mindent elkövettem, de amely sok ember gondolatainak mélyén ott bújkál, a punktualizmus és a szaltacionizmus közötti fogalmi zavar. Darwin szenvedélyes antiszaltacionista volt, s ez arra készítette, hogy újra és újra hangsúlyozza az általa felvetett evolúciós változások rendkívüli fokozatosságát. Ennek az az oka, hogy a szaltáció számára az általunk Boeing 747-es makromutációnak nevezett jelenséget jelentette. Azt jelentette számára, hogy mint Pallasz Athéné Zeusz fejéből, egyszerre csak előszökkennek vadonatúj, bonyolult szervek a genetika varázspálcájának egyetlen intésére. Azt jelentette, hogy egyetlen nemzedék alatt teljesen kialakult, összetett működő szemek jönnek létre a pusztá bőr helyén. Darwin számára azért jelentette mindezeket a

dolgokat, mert pontosan ezeket jelentette legbefolyásosabb ellenfelei számára, akik csakugyan úgy vélték, hogy ez fontos tényező az evolúcióban.

Argyll hercege például elfogadta tényként az evolúciót, de a hátsó ajtón vissza akarta csempészni az isteni teremtetést. Ebben nem volt egyedül. Az Édenkertben lezajlott egyszeri, egyszer s mindenkorra szóló teremtetés helyett sok viktoriánus úgy gondolta, hogy az istenség az evolúció döntő pontjain ismételten közbeavatkozott. Úgy gondolták, hogy olyan összetett szervek, mint például a szemek, nem egyszerűbbekből fejlődtek ki lassú fokozatos fejlődéssel, ahogy Darwin állította, hanem egyetlen szempillantás alatt pattantak elő. Az ilyen emberek joggal érzékelték úgy, hogy az efféle pillanat alatt zajló „evolúció”, ha sor került rá, természetfeletti közbeavatkozást kívánt: ezért hittek benne. Ennek statisztikai indokai vannak, olyanok, amelyeket a hurrikánokkal és a Boeing 747-esekkel kapcsolatban tárgyaltam. A 747-es szaltációnizmus tulajdonképpen csupán a teremtetés elvének fölhígított formája. Másként fogalmazva, az isteni teremtetés a szaltáció végső formája. Ez a végső ugrás az élettelen anyagtól a teljesen megformált emberig. Darwin ezt érzékeltte is. Sir Charles Lyellnek, kora vezető geológusának így írt egy levélben:

„Ha meg volnék győződve arról, hogy efféle kiegészítésekre van szükségem a természetes szelekció elméletéhez, akkor mint értéktelen kacatot vetném el... Semmit sem adnék a természetes szelekció elméletéért, ha csodás kiegészítéseket igényelne a származás bármelyik szakaszában.”

Ez nem kis dolog. Darwin nézete szerint a természetes szelekció általi evolúció elméletének *lényege*, hogy *nem* csodás magyarázatot kínált a bonyolult adaptáció létezésére. Ér amit ér, ennek a könyvnek is ez a veleje. Darwin számára az olyan evolúció, amelyet Istennek kell átsegítenie a zökkenőkön, egyáltalán nem evolúció. Ezzel az evolúció lényege válik értelmetlenné. Ennek fényénél könnyű belátni, miért ismételtette állandóan Darwin az evolúció *fokozatosságát*, ezért írtam a 4. fejezetben idézett mondatot:

„Ha be lehetne bizonyítani, hogy létezik bármely összetett szerv, amely nem alakulhatott ki számos, egymást követő kis módosulással, akkor elméletem teljesen összeomlana.”

Más oldalról is szemügyre vehetjük a fokozatosság alapvető fontosságát Darwin számára. Sok kortársának – mint még ma is sok embernek – neheze esett elhinni, hogy az emberi test és más hasonlóan összetett dolgok létrejöhetnek az evolúció eszközei révén. Ha az egysejtű amőbát távoli őszükként képzeljük el – ahogy az még nemrég is divatban volt –, akkor sok embernek neheze esik lélekben áthidalni a szakadékot az amőba és az ember között. Elképzelhetetlennek tartják, hogy ilyen egyszerű kezdetekből ennyire összetett dolog keletkezhessek. Az efféle hitetlenség leküzdésének eszközeként Darwin a kis lépések fokozatos sorának eszméjéhez folyamodott. E gondolatmenet szerint nehéz lehet elképzelni, hogy amőbából ember váljék; azt azonban nem nehéz elképzelni, hogy az amőbából egy kicsit

eltérő fajta amőba legyen. Ebből azután nem nehéz elképzelni, hogy újabb kicsit másfajta valami legyen, és így tovább. Amint a 3. fejezetben láttuk, ez az érvelés csak akkor küzdi le hitetlenségünket, ha hangsúlyozzuk, hogy rendkívül nagyszámú lépésre került sor és, hogy minden egyes lépés nagyon kicsiny volt. Darwin állandó harcban állt a hitetlenség e forrásával, s újra és újra ugyanahhoz a fegyverhez folyamodott: a megszámlálhatatlan nemzedéken végighúzódo fokozatos, szinte láthatatlan változás hangsúlyozásához.

Mellékesen érdemes idézni J. B. S. Haldane jellegzetes, kerülővel működő érvelését, amit a hitetlenség ugyanezen forrásának leküzdésére vet be. Rámutat, hogy minden anya méhében 9 hónap alatt valami olyasmi átmenet zajlik le, mint az amőbától az emberig. El kell ismerni, hogy az egyedfejlődés nagyon különböző folyamat, mint az evolúció, mégis mindenkinek, aki kételkedik már abban a *lehetőségben is*, hogy egyetlen sejtől el lehet jutni az emberig, csupán el kell gondolkoznia saját magzati kezdeményein, hogy enyhítse kételyeit. Remélem nem tartanak szörszálhasogatónak, ha mellékesen hangsúlyozom, hogy az amőba választása tiszteletre méltó ősvünk címére egyszerűen egy hóbotos hagyomány követése. A baktérium jobb választás lenne, de még a baktériumok is, amennyire ismerjük őket, modern szervezetek.

Hogy visszatérjünk gondolatmenetünkhöz, Darwin azért hangsúlyozta annyira az evolúció fokozatosságát, mert ami *ellen* érvelt: az evolúcióról a 19. században uralkodó téveszmék voltak. Az akkori idők kontextusában a fokozatos *jelentése* a szaltáció ellentéte volt. Eldredge és Gould a 20. század végének kontextusában nagyon eltérő értelemben használja a fokozatosság fogalmát. Voltaképpen, noha nem explicit módon, az „állandó sebesség” értelemben használják, s ezzel állítják szembe a maguk „szagztatottság” elvét. A gradualizmust ebben az „állandó sebességizmus” jelentésében bírálják. Nem kétséges, ebben igazuk van: szélsőséges formájában éppoly abszurd, mint az én Exodus hasonlatom.

Ám ezt a jogos bírálatot Darwin bírálatával párosítani egyszerűen annyit jelent, mint a fokozatos szó két teljesen különálló jelentését összekeverni. Abban az értelemben, amelyben Eldredge és Gould szemben állnak a gradualizmussal, nincs okunk kételkedni, hogy Darwin egyetértett volna velük. Abban az értelemben, amelyben Darwin szenvedélyes gradualista volt, Eldredge és Gould is gradualisták. A szagztatott egyensúly elmélete kisebb horderejű széljegyzet a darwinizmushoz, olyan, amit maga Darwin is helyezett volna, ha a kérdést az ő korában tárgyalták volna. Mint kisebb horderejű széljegyzet, nem szolgált rá a különlegesen nagy publicitásra. Annak, hogy mégis ilyen nagy publicitást kapott, s amiért én kötelességemnek éreztem e könyv egész fejezetét neki szentelni, egyszerűen az az oka, hogy az elméletet úgy adták el – sőt néhány újságíró túlzottan nagy üzletet is csinált belőle –, mintha gyökeresen szemben állna Darwin és követői nézeteivel. Miért történt ez így?

Akadnak emberek a világon, akik elszántan szeretnék, ha nem kellene hinnünk a darwinizmusban. Úgy tűnik, három fő csoportjuk van. Vannak először azok, akik vallási okokból azt szeretnék, ha maga az evolúció nem volna igaz. Másodszor vannak olyanok, akiknek nincs okuk tagadni az evolúciót, de akik gyakran politikai vagy ideológiai okokból a Darwin-féle elmélet *mechanizmusát* visszataszítónak találják. Ezek közül némelyek a természetes szelekció eszméjét elfogadhatatlanul durvának és könyörtelennek tartják; mások a természetes szelekciót a véletlenszerűséggel, s ennél fogva a „jelentésnélküliséggel” keverik össze, ami sérti méltóságukat; megint mások a darwinizmust a szociáldarwinizmussal tévesztik össze, amelynek fajgyűlölő és egyéb elfogadhatatlan mellékzöngéi vannak. Harmadszor vannak emberek, köztük sokan, akik az úgynevezett tömegtájékoztatóban dolgoznak, akik egyszerűen szeretik a szenzációt, talán mert magas példányszám származik belőle; és a darwinizmus kellőképpen tekintélyes és tisztelet övezte elmélet ahhoz, hogy szenzációhajhászásra csábítson.

Bármilyen is az indíték, a következmény az, hogy ha egy jó hírű tudós épp csak egy leheletnyi kritikával illeti a kurrens darwini elmélet valamelyik részletét, nyomban lecsapnak erre a tényre, és aránytalanul fölfújják. Ez a várakozás és készenlét olyan erős, mintha egy nagy teljesítményű erősítőhöz kapcsolt érzékeny mikrofon szelektíven figyelne mindenre, ami egy csipetnyit is a darwinizmussal szembeni állásfoglalásként hangzik. Ez nagyon sajnálatos, mert a komoly vita és bírálat létfontosságú része a tudománynak, és tragikus volna, ha a tudósok úgy éreznék, hangfogót kell feltenniük a mikrofonok miatt. Mondanunk sem kell, hogy az erősítő, noha nagy teljesítményű, nem hifi: sok a torzítás! Az a tudós, aki óvatosan valamilyen csekély kételyét suttozza a darwinizmus egyik finom részletével kapcsolatban, ki van téve annak, hogy eltorzított és alig felismerhető szavait hallja visszhangozni a mohón várakozó hangszórókból.

Eldredge és Gould nem suttoznak – kiáltanak, mégpedig ékesszólóan és erőteljesen! Amit kiáltanak az gyakran eléggé bonyolult, ám az üzenet ami eljut a fülekbe az, hogy valami baj van a darwinizmussal. Halleluja, maguk „a tudósok” mondták! A *Biblical Creation* szerkesztője írta:

„Vallási és tudományos pozícióink hihetőségét tagadhatatlanul nagyban megerősítette a neodarwinista morálban beállt törés. S ez olyasmi, amit teljes mértékben ki kell használnunk.”

Eldredge és Gould is bátor harcosai voltak a nyakas teremtvéselvűség elleni küzdelemnek. Panaszaikat is kikiáltották, amiért visszaéltek a szavakkal, de csak azt tapasztalhatták, hogy üzenetüknek *ennél a részénél* a mikrofonok hirtelen elnémultak. Együttérzek velük, mert magam is tapasztaltam hasonlókat másfajta mikrofonokkal, ebben az esetben inkább politikára és nem vallásra hangolt mikrofonokkal.

Arra van szükség, hogy hangosan és világosan kimondjuk az igazságot: a szaggatott egyensúly elmélete szilárd neodarwinista alapokon nyugszik. Mindig is ott volt. Időre lesz szükség, hogy helyrehozzuk a kárt, amit a

túlhajtott retorika idézett elő, de helyre fogjuk hozni. A szaggatott egyensúly elmélete vissza fogja nyerni a neki megfelelő arányokat, mint érdekes, de kisebb fodrozódás a neodarwinista elmélet felszínén. Semmiképpen sem ad alapot „a neodarwinista morál hanyatlására” és arra sem, hogy Gould kijelentse, a szintetikus elmélet (ez egy másik név a neodarwinizmusra) „lényegében halott”. Olyan ez, mintha azt a felfedezést, hogy a Föld nem tökéletes gömb, hanem kissé lapított, ezzel a harsogó újságcímmel szerkesztenék ki:

KOPERNIKUSZ TÉVEDETT! A LAPOS FÖLD ELMÉLETE BEIGAZOLÓDOTT!

Ám a méltányosság kedvéért hozzá kell tennünk, hogy Gould megjegyzése nem annyira a darwinista szintézis állítólagos gradualizmusa ellen irányult, mint inkább egy másik állítása ellen. Ez az Eldredge és Gould által vitatott álláspont az, hogy minden evolúció, még a legnagyobb földtörténeti időléptékben is, azoknak az eseményeknek az extrapolációja, amelyek populációkon vagy fajokon belül történnek. Ők úgy vélik, hogy van egy magasabb rendű szelekció is, amelyet ők „faji szelekciónak” neveznek. Ezt a témát a következő fejezetre halasztom. A következő fejezetben foglalkozom a biológusok egy másik iskolájával is, akiket ugyanilyen gyenge alapon némely esetben antidarwinistákként állítanak be, az úgynevezett „átalakult kladistákkal”. Ők a taxonómiának, az osztályozás tudományának általánosabb irányzatához tartoznak.

10. FEJEZET

Az élet egyetlen, igazi fája

Ez a könyv főként az evolúcióról mint a „konstrukció” bonyolult problémájának megoldásáról szól; az evolúcióról, mint azon jelenségek helyes magyarázatáról, amelyekről Paley úgy gondolta, hogy az isteni órásmeister létét igazolják. Ezért térek újra és újra vissza a szemre és a visszhang-tájékozódásra. Van azonban a dolgoknak egy másik nagy köre, amit az evolúció elmélete megmagyaráz. Ezek a különbözőség (diverzitás) jelenségei: a szerte a világban található különböző állat- és növénytípusok mintázata, valamint a tulajdonságok megoszlása közöttük. Jóllehet engem főként a szemek és más bonyolult gépezetek foglalkoztatnak, nem szabad elhanyagolnom más aspektusait sem annak a szerepnek, amit az evolúció a természet megértésében játszik. Ez a fejezet tehát a taxonómiáról szól.

A taxonómia az osztályozás tudománya. Némelyek számára egyet jelent az unalmassággal, ami nem igaz, tudat alatt poros múzeumokkal és a formalin szagával asszociálódik, mintha a taxidermiával (állatkitömés) kevernék össze. A valóságban minden, csak nem unalmas. Nem egészen értem, hogy miért, de ez az egyik legádázabban vitatott terület az egész biológiában. Érdekes téma a filozófusok és a történészek számára is. Fontos szerepet kell kapnia az evolúció tárgyalásában. És a taxonómusok soraiból kerül ki a modern biológusoknak az a néhány nagyon szókimondó tagja, akik antidarwinistáknak mutatják magukat.

Noha a taxonómusok elsősorban állatokat és növényeket tanulmányoznak, mindenfélét lehet osztályozni: köveket, hadihajókat, könyveket egy könyvtárban, csillagokat, nyelveket. A rendezett osztályozást gyakran a kényelem eszközeként állítják be, valamilyen gyakorlati szükségszerűségként, s ez csakugyan része is az igazságnak. Egy nagy könyvtár könyvei szinte használhatatlanok, hacsak nem rendezik el őket valamilyen nem véletlenszerű módon úgy, hogy egy adott témáról szóló könyvek megtalálhatók legyenek, amikor szükségünk van rájuk. A könyvtárosság tudománya vagy inkább talán művészete az alkalmazott taxonómia gyakorlása. Ugyanilyen okok miatt a biológusok számára megkönnyíti az életet, ha az állatokat és növényeket egyezményes nevekkel ellátott rekeszekbe dughatják. A lényeg mellett mennénk azonban el, ha azt mondanánk, hogy ez az egyedüli indoka az állatok és növények taxonómiájának. Az evolúcióbiológusok számára van valami egészen különleges az élő szervezetek osztályozá-

sában, olyasmi, ami nem áll másfajta taxonómiákra. Az evolúció eszméjéből következik, hogy minden élő dolognak van egyetlen helyes módon elágazó családfája, és taxonómiánkat erre alapozhatjuk. Egyedülálló voltán túl ennek a taxonómiának megvan az a különleges tulajdonsága is, amit *tökéletes beágyazásnak* fogok nevezni. Hogy ez mit jelent s miért olyan fontos, főként erről szól ez a fejezet.

A nem biológiai taxonómia példaként használjuk a könyvtárat. Nincs egyetlen helyes megoldás arra a problémára, hogy a könyveket egy könyvtárban vagy egy könyvesboltban miként kell rendszerezni. Egy könyvtáros feloszthatja gyűjteményét a következő fő kategóriákra: tudomány, történelem, irodalom, egyéb művészetek, külföldi művek stb. A könyvtár e fő osztályainak mindegyikét tovább lehet bontani. A könyvtár tudománnyal foglalkozó könyveinek tömege tovább bontható biológiára, geológiára, kémiára, fizikára stb. A tudományszárny biológiai szekciójában levő könyvek tovább oszthatók élettannak, anatómiának, biokémiának, entomológiának stb. szentelt polcokra. Végül az egyes polcokon a könyvek elhelyezhetők ábécérendben. A könyvtár többi szárnyát, a történelemszárnyat, az irodalomszárnyat, az idegennyelv-szárnyat stb. hasonlóképpen lehet felosztani. A könyvtár tehát hierarchikus beosztást mutat, s ez lehetővé teszi az olvasó számára, hogy rábukkanjon a keresett könyvre. A hierarchikus osztályozás azért kényelmes, mert a kölcsönző számára lehetővé teszi, hogy gyorsan megtalálja az utat a gyűjteményben. Ugyanilyen okok miatt vannak a szavak a szótárakban ábécérendben.

Nincs azonban egyetlen egy olyan kitüntetett hierarchia, amelyben egy könyvtár könyveit rendezni kell. Más könyvtáros választhat úgy, hogy ugyanazt a könyvgyűjteményt eltérő, de még mindig hierarchikus módon szervezi. Nem csinál például külön idegennyelvű-szárnyat, hanem nyelvre való tekintet nélkül a megfelelő téma szerint rendezi a könyveket: a német biológiai könyveket a biológia szekcióba, a német történelemkönyveket a történelem szekcióba és így tovább. A harmadik könyvtáros választhatja azt a radikális megoldást, hogy az összes könyvet témájára való tekintet nélkül a megjelenés időpontja szerint rendezi el, és a kívánt témájú könyvek megkereséséhez a kartotékrendszerre (vagy ennek számítógépes megfelelőjére) bízza magát.

Ez a három könyvtári rend nagyon különbözik egymástól, de valószínűleg mindegyik megfelelően működne, és sok olvasó elfogadhatónak tartaná. A népszerű könyveket tartó boltok úgy rendezik el könyveiket, hogy azok a közérdeklődést tükrözzék. Fő részlegeik nem természettudományok, történelem, irodalom, földrajz stb., hanem kertészet, szakácskönyvek, tévéjátékok, az okkult tanok és egyszer láttam egy polcot, amely feltűnően a VALLÁS ÉS UFÓK címkét viselte.

Nincs tehát *helyes* megoldása annak a problémának, hogy miként osztályozzuk a könyveket. A könyvtárosok nézetei az osztályozási rendszerről ésszerű szempontok szerint eltérhetnek egymástól, de a nyertes vagy vesztes

érvek kritériumai között nem szerepel az egyik osztályozási rendszer „igaz” vagy „helyes” volta a másikkal képest. A kritériumok, amelyek körül a vita folyhat, a „kényelem a könyvtár használói számára”, „a könyvek megtalálásának sebessége” stb. Ebben az értelemben a könyvek taxonómiája a könyvtárban önkényesnek mondható. Ebből nem következik, hogy lényegtelen volna jó osztályozási rendszert tervezni; szó sincs róla. Azt azonban jelenti, hogy nincs olyan egyedüli osztályozási rendszer, amely a tökéletes információk világában egységesen elfogadható volna az egyedüli helyes osztályozásnak. Az élőlények taxonómiája viszont, mint látni fogjuk, rendelkezik ezzel az erős tulajdonsággal, ami a könyvek taxonómiájából hiányzik; legalábbis rendelkezik akkor, ha evolúciós álláspontra helyezkedik.

Természetesen létre lehet hozni akárhány rendszert az élőlények osztályozására, de ki fogom mutatni, hogy egy híján mindegyikük éppoly önkényes, mint bármelyik könyvtári taxonómia. Ha csupán a kényelem a fontos, akkor a múzeum fenntartója osztályozhatja tárgyait méretük és tárolási feltételeik szerint: nagy, kitömött tárgyak; kicsiny szárított példányok gombostűvel felszúrva parafa táblákra tálcákon; formalinban üvegbe eltettek; mikroszkopikusak tárgylemezeken és így tovább. Az ilyen kényelem szerinti csoportosítások gyakoriak az állatkertekben. A londoni állatkert például egyszerűen azért helyezi el a rinocéroszokat az elefántházban, mert ugyanolyan erős ketrecekre van szükségük, mint az elefántoknak. Az alkalmazott biológus osztályozhatja az állatokat kártevőkre (amelyeket azután tovább csoportosíthat orvosi kártevőkre, mezőgazdasági kártevőkre és közvetlenül veszélyes, harapó vagy szűrő állatokra), hasznosakra (hasonlóképpen továbbosztályozva) és semlegesekre. A táplálkozás szakértője aszerint osztályozhatja az állatokat, hogy húsuknak milyen tápértéke van az ember számára, s ezt azután megint csak részletes alkatégória-rendszerre bonthatja tovább. Nagyanyám egyszer gyerekeknek állatokról szóló, vászonba kötött könyvet hímzett, amely az állatokat a lábuk szerint osztályozta. Az antropológusok dokumentumaiban az állatok osztályozásának számos bonyolult rendszere található, amelyeket a világ különböző törzsei használnak.

Ám az összes elképzelhető osztályozási rendszer között van egy különleges rendszer, amely különleges abban az értelemben, hogy ha tökéletes információink vannak, akkor tökéletes egyetértésben alkalmazható rá a „helyes” és „helytelen”, „igaz” és „hamis” jellemzés. Ez a különleges rendszer az evolúciós viszonyokon alapszik. A zavar elkerülése végett erre a rendszerre azt a kifejezést használom, amit a biológusok a legszigorúbb formájára alkalmaznak: kladisztikus taxonómia.

A kladisztikus taxonómiában a szervezetek csoportosításának végső kritériuma a rokonságuk szoros volta vagy más szóval: közös leszármazásuk viszonylagos újkeletű volta. A madarakat például az a tény különbözteti meg a nem madaraktól, hogy mindannyian egy olyan közös őstől származnak, amely nem őse egyetlen nem madárnak sem. Az emlősök mindannyian olyan közös őstől származtak le, amely nem őse egyetlen nem emlősnek sem.

A madaraknak és emlősöknek van távolabbi közös ősök, amelyen egy sor más állattal osztoznak, például kígyókkal, gyíkokkal és hidasgyíkokkal. Az ettől a közös őstől származó állatokat együttesen amniotáknak nevezzük. Tehát a madarak és az emlősök amnioták. A hüllők a kladisták szerint nem valódi taxonómiai fogalom, mivel kivételként van meghatározva: hüllő minden amniota a madarak és emlősök kivételével. Más szóval, az összes hüllő (kígyók, teknősök stb.) legújabb, közös őse egyúttal néhány nem hüllőnek is őse, nevezetesen a madaraknak és emlősöknek.

Az emlősökön belül a patkányoknak és az egereknek újkeletű, közös ősök van; a párducoknak és az oroszlánoknak ugyancsak újkeletű ősök van; ez a helyzet a csimpánzokkal és az emberekkel is. Az egymással szoros rokonságban álló állatok azok, amelyeknek újkeletű, közös ősök van. A távolabbi rokonságban álló állatoknak korábbi a közös ősök. A nagyon távolról rokon állatoknak, például az embereknek és a meztelencsigáknak, nagyon korai közös ősök van. A szervezetek sohasem lehetnek teljesen függetlenek egymástól, mivel szinte bizonyos, hogy az élet csupán egyszer keletkezett a Földön.

A valódi kladisztikus taxonómia szigorúan hierarchikus, s ezt a kifejezést abban az értelemben fogom használni, hogy a fa ágai mindig széttartanak és soha nem tartanak újra össze. Nézetem szerint (és ebben némely taxonómiai iskola nem ért egyet, amint majd később tárgyalni fogjuk) *nem* azért szigorúan hierarchikus, mert a hierarchikus osztályozás kényelmes, mint a könyvtáros osztályozása, sem azért, mert a világon minden természetes módon hierarchikus mintázatot ölt, hanem egyszerűen azért, mert az evolúciós leszármazás mintázata hierarchikus. Ha az élet fája egyszer már egy bizonyos minimális távolságon (alapvetően a faj határain) túl szétágazott, akkor az ágak soha többé nem találkoznak újra össze (lehet néhány nagyon ritka kivétel, mint a 7. fejezetben említett eukariota sejtek eredete). A madarak és emlősök közös őstől származtak le, de ma már az evolúciós fa külön ágait alkotják, és sohasem jönnek újra össze; soha nem lesz kereszteződés madár és emlős között. A szervezetek olyan csoportját, amely ezzel a tulajdonsággal rendelkezik, tehát hogy mindannyian egy közös őstől származtak le, amely nem őse egyetlen nem-csoporttagnak sem, az ág szó görög megfelelőjéből *kladosznak* nevezzük.

A szigorú hierarchia reprezentálásának másik módja a „tökéletes egymásba ágyazódás”. Egy állathalmaz nevét fölírjuk egy nagy ív papírra, és köröket rajzolunk az egymással rokon csoportok köré. Például a patkányt és az egeret egy kis kör egyesíti jelezve, hogy közeli rokonok újkeletű, közös őssel. A tengerimalac és a vízidisznó egy másik kis körbe kerül bele. A patkány/eger és a tengerimalac/vízidisznó köröket azután egymással (és hódokkal, sündiszlókkel, mókusokkal s még egy sor más állattal együtt) egy nagyobb kör foglalja magába, amelynek megvan a maga neve: rágcsálók. Azt mondjuk, hogy a belső körök a nagyobb külső körökbe ágyazódnak. A papír valamely más részén az oroszlánt és a tigrist egy másik kis kör vonja

össze. Ezt a kört más körökkel együtt a macskák elnevezésű kör foglalja magába. Egy kör a körön belül sorozat végén a macskák, kutyák, menyétek, medvék stb. mindannyian a húsevők elnevezésű körben egyesülnek. A rágcsálók köre és a húsevők köre azután része lesz a körön belüli körök még globálisabb sorának, az emlősök elnevezésű nagyon nagy körön belül.

A körökön belüli körök ilyen rendszerével kapcsolatban az a fontos, hogy *tökéletesen egymásba vannak ágyazva*. Soha, egyetlen esetben sem metszik egymást az általunk rajzolt körök. Vegyünk bármely két egymással átfedő kört, mindig igaz lesz, hogy az egyik teljes mértékben a másik belsejébe esik. A belső kör által bezárt területet mindig teljes mértékben magába foglalja a külső kör: soha nem fordul elő részleges átfedés. A tökéletes taxonómiai egymásba ágyazódásnak ezt a tulajdonságát nem mutatják a könyvek, nyelvek, talajtípusok vagy filozófiai iskolák. Ha a könyvtáros kört rajzol a biológiai könyvek köré s egy másikat a teológiai könyvek köré, akkor azt fogja tapasztalni, hogy a két kör átfed. Az átfedés zónájában olyan könyvcímek találhatók, mint a „Biológia és keresztény hit”.

A felszínen arra számíthatnánk, hogy a nyelvek osztályozása ugyancsak mutatja a tökéletes egymásba ágyazódás tulajdonságát. A nyelvek, amint a 8. fejezetben láttuk, nagyon is állatszerűen fejlődnek. Azok a nyelvek, amelyek csak nemrégiben ágaztak szét egy közös őstől, például a svéd, a norvég és a dán, sokkal hasonlóbbak egymáshoz, mint azokhoz a nyelvekhez, amelyek már korábban elváltak, mint pl. az izlandi. Ám nyelvek nem csupán szétváltnak, össze is olvadnak. A mai angol a germán és a román nyelvek hibridje, amelyek jóval korábban szétváltak, s ezért az angol nem illeszkedne pontosan egyetlen hierarchikus, egymásba ágyazódó diagramba sem. Az angolt magába záró körök metszenék egymást, részlegesen átfednének. A biológiai osztályozási körök sohasem metszik egymást ilyen módon, mivel a biológiai evolúció a fajok szintje fölött mindig szét tart.

Visszatérve a könyvtár példájára, egyetlen könyvtáros sem kerülheti el teljesen a köztes esetek vagy átfedések problémáját. Nem használ, ha a biológia és teológia szekciókat egymás mellé helyezzük el és a köztes könyveket a köztük levő folyosóra tesszük; mert mit csináljunk akkor azokkal a könyvekkel, amelyek a biológia és a kémia, a fizika és a teológia vagy a történelem és a teológia, a történelem és a biológia közötti határterületen helyezkednek el? Azt hiszem nem tévedek, hogy a köztes esetek problémája kikerülhetetlenül, inherensen része minden taxonómiai rendszernek, amely nem az evolúciós biológiából ered. Hogy személyes témára fordítsam a szót, szinte fizikai rossz érzést okoz, amikor megkísérlem elvégezni szakmai munkámmal járó szerény iratrendezési feladatomat: saját könyveim elhelyezését a polcokon, a kollégáktól (a legnemesebb szándékkal) nekem küldött tudományos különlenyomatokat, az ügyiratokat, a régi leveleket stb. Bármilyen kategóriákat alkalmazunk is irataink rendezéséhez, mindig lesznek kényelmetlen tételek, amelyek nem illeszkednek sehova, és a kellemetlen határozatlanság, sajnálom hogy így van, oda vezet, hogy a kilógó papírokat kint

hagyom az asztalon, néha évekig, míg végül már nincs szükségem rájuk, és eldobhatom őket. Gyakran a *vegyes* kategória nem kielégítő gyakorlatához kell folyamodnunk, amelynek az a veszélyes tulajdonsága, hogy ha egyszer megnyitottuk, növekedni kezd. Néha arra gondolok, hogy a könyvtárosok, és a biológiai múzeumokat leszámítva az összes múzeum fenntartói különösen hajlamosak lehetnek a gyomorfekélyre.

Az élőlények taxonómiájában ilyen rendezési problémák nem merülnek fel. Nincsenek „vegyes” állatok. Mindaddig, amíg a fajok szintje fölött maradunk, és amíg csak mai állatokat (vagy bármely adott időmetszet állatait: lásd később) tanulmányozzuk, nincsenek kényelmetlen köztes esetek. Ha egy állat kényelmetlen köztes esetnek látszik, mondjuk pontosan középütt levőnek egy emlős és egy madár között, az evolucionista bizonyos lehet abban, hogy határozottan vagy az egyiknek, vagy a másiknak *kell* lennie. A köztesesség látszata csak illúzió lehet. A szegény könyvtáros nem talál ilyen megnyugvásra. Tökéletesen lehetséges, hogy egy könyv egyidejűleg tartozzék mind a történelem, mind a biológia részlegekhez. A kladista beállítottságú biológus sohasem merül el olyasfajta könyvtárosi okfejtésekben, hogy vajon kényelmes-e a ceteket emlősöknek vagy halaknak osztályozni, vagy az emlősök és a halak közötti köztes esetnek. Csak tényszerű érveink vannak. Ebben az esetben történetesen a tények minden mai biológust ugyanarra a következtetésre vezettek. A cetek emlősök és nem halak, és még csak kicsit sem köztesek. Nincsenek közelebb a halakhoz, mint az emberek vagy a kacsacsőrű emlősök, vagy bármely más emlős.

Valóban fontos megértenünk, hogy minden emlős – emberek, cetek, kacsacsőrű emlősök és a többi – *pontosan ugyanolyan* közel áll a halakhoz, mivel minden emlős ugyanazon a közös őson keresztül kapcsolódik a halakhoz. Az a mítosz, hogy az emlősök például létrát vagy „skalát” alkotnak, ahol az „alacsonyabban állók” közelebb vannak a halakhoz, mint a „magasabban állók”, ez olyan sznobizmus, amelynek semmi köze az evolúcióhoz. Ez egy ősi, evolúció előtti elgondolás, amit néha „a lét nagy láncolatának” neveznek, s amit le kellett volna rombolnia az evolúciónak, de ami valamilyen rejtélyes módon beleivódott abba, ahogyan sokan az evolúcióról gondolkodnak.

Ezen a ponton nem tudok ellenállni a kísértésnek, hogy felhívjam a figyelmet, milyen ironikus, amikor a teremtés hívei a következő kihívást vágják az evolucionisták fejéhez: „Mutassatok rá a köztes eseteitekre. Ha az evolúció igaz volna, akkor kellene lenniük olyan állatoknak, amelyek félúton vannak a macska és a kutya között vagy a béka és az elefánt között. De látott-e már valaki békaelefántot?” Küldtek már nekem olyan, a teremtés híveitől származó pamfleteket, amelyek az evolúciót azzal próbálták nevetségessé tenni, hogy groteszk kimérákat rajzoltak, ló hátsófelű, kutya elejű lényeket például. Ugy látszik a szerzők azt képzelik, hogy az evolucionistának ilyen köztes állatok létezésére kellene számítaniuk. Ez nem csupán a lényeg félreértése, hanem éppen az ellentéte. Az evolúció elméletéből szá-

munkra adódó egyik legerősebb elvárás éppen az, hogy efféle köztes esetek *nem* létezhetnek. Ezt kívánja érzékelteni az az összehasonlítás, amit az állatok és a könyvtári könyvek között tettem.

Az evolúció útján létrejött lények taxonómiájának tehát megvan az az egyedülálló tulajdonsága, hogy a tökéletes információ világában tökéletes egyetértést nyújt. Ezt értettem azon, hogy az „igaz” és a „hamis” szavak alkalmazhatók a kladisztikus taxonómiában tett kijelentésekre, de nem alkalmazhatók semmilyen könyvtárosi taxonómiában tett állításra. Két ponton finomítanunk kell. Először is a valóságban nincsen tökéletes információnk. A biológusok között lehet nézeteltérés a leszármazás tényei körül, s a vitákat esetleg nehéz eldönteni a tökéletlen információ miatt, például nem elég jó ősseletek miatt. Erre még visszatérek. Másodszor, eltérő probléma jelentkezik akkor, ha túlságosan *sok* a leletünk. Osztályozásunk pontos és egyértelmű diszkrétsége könnyen tovatűnik, ha megpróbáljuk a valaha élt összes állatot belevonni, és nem csupán a mai állatokat. Ennek az az oka, hogy bármily távol is essen egymástól két mai állat – például egy madár és egy emlős – valaha volt egyszer egy közös ősök. Ha mármost az a dolgunk, hogy megpróbáljuk ezt az őst a mai osztályozási rendszerünkben elhelyezni, akkor lehetnek problémáink.

Abban a pillanatban, hogy elkezdjük számításba venni a kihalt állatokat is, többé nem igaz, hogy nincsenek köztes esetek. Épp ellenkezőleg, most már meg kell elégednünk a köztes esetek potenciálisan folytonos sorával. A mai madarak és a mai nem madarak, például emlősök közti különbségtétel azért egyértelmű csupán, mert a közös ős felé összetartó köztes esetek mind halottak. Hogy ezt még erőteljesebben tudjuk érzékelteni, gondoljunk újra a feltételezetten „kegyes” természetűre, amely teljes ősseletanyaggal lát el bennünket; a valaha élt összes állat leletével, kövületével. Amikor ezt a képzeletszüleményt az előző fejezetben bevezettem, akkor megemlítettem, hogy egy nézőpontból ez a természet valójában kegyetlen volna. Akkor arra gondoltam, hogy mekkora verejtékes munkát jelentene az összes kövület tanulmányozása és leírása, most azonban ennek a paradoxonnak egy másik aspektusához jutottunk el. A teljes kövületanyag nagyon megnehezítené számunkra, hogy az állatokat diszkrét megnevezhető csoportokba soroljuk. Ha teljes kövületanyagunk volna, akkor fel kellene adnunk a diszkrét neveket, és az elcsúszó skála valamilyen matematikai vagy grafikus megjelenítéséhez kellene folyamodnunk. Az emberi elme sokkal jobban kedveli a diszkrét neveket, s így ebben az értelemben nagyon is jó, hogy a kövületek ilyen szegényesek.

Ha az összes valaha élt állatot vennénk szemügyre ahelyett, hogy csupán a mai állatokkal foglalkoznánk, az olyan szavak, mint „ember” és „madár” éppoly összemosódók és homályosak volnának a széleik mentén, mint a „magas” és a „kövér”. A zoológusok megoldhatatlan vitába bonyolódhatnának arról, hogy egy adott őslényelet madár-e vagy sem. Csakugyan gyakran vitatkoznak pontosan ezen a kérdésen a híres őslény, az *Archaeo-*

pteryx körül. Kiderül, hogy ha a madár/nem madár megkülönböztetés világosabb, mint a magas/alacsony különbség, akkor ez csak azért van, mert a madár/nem madár esetében az összes kényelmetlen köztes eset kihalt. Ha egy furán szelektív járvány törne ki, és megölné az összes köztes magasságú embert, akkor a magas és az alacsony szavak éppoly precíz jelentésre tennének szert, mint a madár vagy az emlős.

Nem csupán a zoológiai osztályozást menti meg a kellemetlen kétértelműségtől az a kényelmes tény, hogy a legtöbb köztes eset ma már kihalt. Ugyanez áll az emberi etikára és jogra is. Jogi és erkölcsi rendszereink mélyen fajhoz kötöttek. Az állatkert igazgatójának joga van leírni a fölösleges csimpánzt, miközben bármilyen utalás arra, hogy esetleg „leírna” egy fölösleges állatgondozót vagy jegykezelőt, hihetetlen fölháborodással találkozna. A csimpánz az állatkert tulajdona. Az embereket manapság már nem tartják senki tulajdonának, mégis a csimpánzokkal szembeni ilyen hátrányos megkülönböztetés indoklását ritkán fejtik ki, és kétlem, hogy van-e egyáltalán védhető indoklás. Íme keresztény ihletettségű attitűdjeink lélegzetelállító faji elfogultsága: egyetlen emberi petesejt abortusza (legtöbbjük egyébként is spontán abortuszra van ítélve) több erkölcsi védelmet és jogos fölháborodást válthat ki, mint akárhány intelligens, felnőtt csimpánz élvezetelállítása! Hallottam jóra való liberális tudósokat, akiknek nem állt szándékukban ténylegesen fölvágni élő csimpánzokat, mégis szenvedélyesen védelmezték a *jogukat* erre, ha úgy döntenének, anélkül, hogy a törvénnyel összeütközésbe kerülnének. Az ilyen emberek gyakran az *emberi* jogoknak már a legkisebb megsértésétől is berzenkednek. Az ilyen kettős mércével egyedül azért tudunk együtt élni, mert az emberek és csimpánzok köztes esetei mind kimúltak az élők sorából.

Az emberek és a csimpánzok utolsó közös őse talán 5 millió évnél nem régebben élt, határozottan újabb korban, mint a csimpánzok és az orangutánok közös őse, és talán 30 millió évvel később, mint a csimpánzok és a többi nem emberszabású majmok közös őse. A csimpánzokkal génjeink több mint 90%-a közös. Ha a világ különböző, elfelejtett szigetein fölfedeznék a csimpánz/ember közös őseitől visszamenőleg az összes köztes eset élő példányát, valószínű, hogy ez mély hatással lenne törvényeinkre és erkölcsi konvencióinkra, már csak azért is, mert a színpék mentén valószínűleg némi közös utódnemzés is előfordulna. Vagy az egész színpéknek meg kellene adnunk minden emberi jogot (szavazati jogot a csimpánzoknak), vagy valami kifinomult apartheidszerű rendszerre volna szükség, hátrányosan megkülönböztető törvényekkel és bíróságokkal, amelyek eldöntik, hogy adott egyének jogi szempontból „csimpánzok” vagy „emberek”; az embereket pedig nagyon nyugtalanítaná, ha a lányuk férjhez akarna menni valamelyikhez „közülük”. Attól tartok, a világot már túlságosan fölfedeztük ahhoz, hogy reménykedhetnénk, ez a fantázia valaha is valóra válik. De mindenkinek, aki úgy véli, van valami nyilvánvaló és magától értetődő az emberi „jogokban”, el kell gondolkoznia: pusztán szerencse, hogy ezek a zavarba hozó köztes

esetek már nem élnek. Vagy az is lehet, hogy ha a csimpánzokat a mai napig nem fedezték volna fel, akkor most őket tartanánk a zavarba ejtő köztes lényeknek.

Az előző fejezet olvasói megjegyezhetik, hogy az egész érvelés, amely szerint a kategóriák összemosódnak ha nem maradunk meg a mai állatoknál, föltételezi, hogy az evolúció állandó sebességgel halad, és nem szaggatott. Evolúciófelfogásunkban mennél inkább megközelítjük a sima, folytonos változás szélsőségét, annál pesszimistábbaknak kell lennünk annak már a lehetősége iránt is, hogy a madár vagy nem madár, ember vagy nem ember szavakat a valaha élt összes állatra alkalmazhatjuk. Egy szélsőséges szaltacionista hiheti, hogy valóban volt egy első ember, akinek mutáns agya kétszer olyan nagy volt, mint apjáé, és mint csimpánzszerű bátyjáé.

A szaggatott egyensúly hívei nagyrészt – mint láttuk – nem igazi szaltacionisták. A nevek kétértelműségének problémája számunkra mégis kevésbé súlyos, mint egy folytonosabb felfogás esetén volna. A megnevezési probléma még a punktualisták számára is fölmerülne, ha szó szerint minden valaha élt állat megmaradt volna kövületként, mivel a punktualisták valójában gradualisták, hogyha a részletekig lehatolunk. Ám mivel feltételezik, hogy különösen valószínűtlen kövületeket találni a gyors átalakulás rövid időszakaiból, miközben különösen valószínű a pangás hosszú időszakaiból, a megnevezési probléma kevésbé jelentős a punktualista nézet számára, mint az evolúció nem punktualista felfogása esetén.

Ezért adnak arra olyan sokat a punktualisták, különösen Niles Eldredge, hogy a „fajt” valóságos entitásként kezeljék. A nem punktualista számára a faj csupán azért határozható meg, mert a kényelmetlen, köztes esetek már kihaltak. A szélsőséges antipunktualista, aki áttekinti az evolúciós történet egészét, egyáltalán nem látja a fajt diszkrét entitásnak. Ő csupán egy összemosódó kontinuumot lát. Felfogása szerint egy fajnak soha sincs egyértelműen meghatározott kezdete, és csak néha van egyértelműen meghatározott vége (kihalás); a fajok gyakran nem érnek határozottan véget, hanem fokozatosan új fajokba mennek át. A punktualista viszont úgy fogja fel, hogy a faj egy adott időpontban kezd létezni (szigorúan véve ez persze évtízezredekben mért átmeneti időszakot jelent, ez azonban nagyon rövid földtörténeti léptékkel). Ezenkívül az ő nézete szerint a fajnak határozott vagy legalábbis gyorsan beteljesülő vége van, s nem fokozatos áttünése egy új fajba. Mivel egy faj életének nagy része a punktualista felfogás szerint változatlan pangásban telik el, és mivel a fajnak diszkrét kezdete és vége van, mondhatjuk róla, hogy határozott, mérhető „élettartama” van. A nem punktualista szerint a fajnak nincs élettartama, mint egy egyedi szervezetnek. A szélsőséges punktualista a fajt olyan diszkrét entitásként fogja fel, amely rászolgált a saját névre. A szélsőséges antipunktualista szerint a faj önkényesen kimetszett szakasza egy szüntelenül hömpölygő folyónak, és nincs semmi konkrét okunk, hogy a kezdetét és a végét határoló vonalakat húzzunk.

Egy állatcsoport történetéről, mondjuk a lovak elmúlt harmincmillió évre visszamenő történetéről szóló punktualista könyvben a szereplők mindannyian fajok lesznek, s nem egyedi szervezetek, mivel a punktualista szerző a fajokat valóságos dolgoknak fogja föl, amelyeknek megvan a maguk diszkrét azonosságuk. A fajok hirtelen jelennek meg majd a színen, és ugyanígy egyik pillanatról a másikra tűnnek el, helyüket pedig az őket követő faj veszi át. Utódlások története lesz ez, amint az egyik faj átadja helyét egy másiknak. De ha ugyanezt a történetet egy antipunktualista írja, akkor a fajok neveit csupán homályos alkalmatosságként használja. Amikor az idő mentén hosszsmetszeti nézőpontot vesz fel, a fajokat többé nem diszkrét entitásoknak látja. Drámájában a valóságos szereplők egyedi szervezetek lesznek fokozatosan eltolódó populációkban. Könyvében egyedi állatok adják át helyüket a leszármazó egyedi állatoknak, s nem fajok a fajoknak. Nem meglepő tehát, ha a punktualista a fajok szintjén képzei el a természetes szelekciót, amelyet analógnak tekint a közösséges egyedek szintjén zajló darwini szelekcióval. A nem punktualista viszont valószínűleg az egyedi organizmusnál nem magasabb szinten látja a természetes szelekciót működni. A „fajok szelekciójának” kevesebb vonzereje van számára, mivel ő a fajokat nem a földtörténeti időben diszkrét léttel bíró entitásokként gondolja el.

Alkalmas-e ez a pillanat, hogy foglalkozzunk a fajok kiválasztódásának hipotézisével, amely bizonyos értelemben az előző fejezetből tolódott át ide? Túlságosan sok időt nem töltök vele, mivel már kifejtettem az evolúcióban játszott állítólagos jelentőségével kapcsolatos kételyeimet *A hódító gén* című könyvemben. Való igaz, hogy a valaha is élt fajok túlnyomó többsége kihalt. Az is igaz, hogy az új fajok olyan ütemben jöttek létre, ami legalábbis egyensúlyban tartotta a kihalás sebességét, van tehát egyfajta „fajkészlet”, amelynek összetétele állandóan változik. Fajok nem véletlenszerű felvétele a fajkészletbe és nem véletlenszerű eltávolításuk onnan, való igaz, elméletileg alkothat magasabb szintű természetes szelekciót. Lehetséges, hogy a fajok bizonyos tulajdonságai befolyásolják kihalásuk valószínűségét vagy annak valószínűségét, hogy új fajok bontakoznak ki. A fajok, amelyeket a világban látunk, jobbára rendelkeznek azzal a valamivel, ami világra jöttükhöz – „speciációjukhoz” – eleve szükséges volt, és ami ahhoz kell, hogy ne haljanak ki. Ezt ha akarja valaki, nevezheti természetes szelekciónak, noha azt gyanítom, közelebb áll az egy lépéses szelekcióhoz, mint az összegződő kiválasztódáshoz. Abban azonban kételkedem, hogy ennek a fajta szelekciónak nagy jelentősége volna az evolúció magyarázatában.

Ez talán csupán elfogult nézeteimet tükrözi arról, hogy mi lényeges. Ennek a fejezetnek az elején már említettem, hogy főként azt várom az evolúció elméletétől, hogy megmagyarázza az olyan összetett, jól megkonstruált mechanizmusokat, mint a szív, a kéz, a szem és a visszhang-tájékozódás. Senki, még a fajszelekció legtüzesebb híve sem gondolja, hogy ez az elmélet képes erre. Vannak emberek, akik csakugyan úgy gondol-

ják, hogy a fajszelekció meg tud magyarázni bizonyos hosszú távú irányzatokat az őseletekben, mint például azt a nagyon gyakran megfigyelt trendet, hogy az idők folyamán a testméretek növekednek. A mai lovak, mint már láttuk, nagyobbak, mint 30 millió évvel ezelőtti őseik. A fajszelekció hívei vitába szállnak azzal az elgondolással, hogy ez állandó egyéni előnyökön keresztül alakult ki: szerintük az őslénytani leletek mind arra mutatnak, hogy a nagy lóegyedek következetesen sikeresebbek voltak, mint a kis lóegyedek saját fajukon belül. Szerintük a következő történt. Számtalan faj volt, egy egész fajkészlet. A fajok némelyikében az átlagos testméret nagy volt, másokban kicsi (talán azért, mert némelyik fajban a nagy egyedek érvényesültek legjobban, más fajokban a kicsik). A nagy testméretű fajok kisebb valószínűséggel haltak ki (vagy nagyobb valószínűséggel sarjadzott belőlük hozzájuk hasonló, új faj), mint a kis testméretű fajok. Bármilyen történt is a fajon belül, a fajszelekció hívei szerint az őslénytani leletekben mutatkozó irányzat a nagyobb testméret felé annak tulajdonítható, hogy egyre nagyobb testméretű *fajok* követték egymást. Még az is lehetséges, hogy a fajok többségében a *kisebb* egyedek voltak előnyben, a leletek irányzata mégis mutathat a nagyobb testméret felé. Más szóval, a *fajok* szelekciója kedvezhet a fajok olyan kisebbségének, amelyekben a nagyobb egyedeknek van előnyük. Pontosan ezt fogalmazta meg – bár meg kell vallani, az ördög ügyvédjének helyzetéből – a nagy neodarwinista elméletalkotó, George C. Williams, már jóval azelőtt, hogy a modern fajszelekció irányzata megjelent a színen.

Mondhatnánk, hogy itt, mint talán a fajszelekció összes állítólagos példája esetében, nem annyira evolúciós trenddel, mint inkább *szukcessziós* trenddel van dolgunk, mint az egyre nagyobb és nagyobb növények felé mutató irányzat, amikor egy elhagyott földterületet birtokba vesznek egymás után kis gyomok, nagyobb füvek, cserje és végül az erdei fák érett „csúcspontja”. Mindenesetre akár *szukcessziós* trendnek, akár evolúciós trendnek nevezzük is, a fajszelekció híveinek igazuk lehet, amikor úgy vélik, hogy ilyen trenddel van gyakran dolguk, amikor paleontológusokként az őslényleletek egymást követő rétegeit tanulmányozzák. De mint mondtam, senki sem akarja azt állítani, hogy a fajszelekció pontos magyarázata az összetett alkalmazkodás evolúciójának. Íme, mi ennek az oka.

A bonyolult alkalmazkodás a legtöbb esetben nem a faj tulajdonsága, hanem az egyed tulajdonsága. A fajoknak nincsenek szemeik és szíveik; az egyedeknek vannak. Ha egy faj a rossz látása miatt hal ki, akkor ez feltehetőleg azt jelenti, hogy az illető fajban minden egyed a rossz látása miatt pusztult el. A jó látás az állategyedek tulajdonsága. Miféle jellemző jegyeket tulajdoníthatunk a *fajoknak*? A válasz az, hogy ezeknek olyan jegyeknek kell lenniük, amelyek úgy befolyásolják a faj fennmaradását és szaporodását, hogy az nem vezethető vissza az egyedek fennmaradására és szaporodására gyakorolt hatásaik összegére. Lovakkal kapcsolatos hipotetikus példánkban arról volt szó, hogy azok a kisebbségben levő fajok, ahol a nagyobb

egyedeknek kedvez a szelekció, kisebb valószínűséggel halnak ki, mint azok a többségben levő fajok, ahol a kisebb egyedek vannak előnyben. Ez azonban egyáltalán nem meggyőző. Nehéz indokot találni arra, hogy a faj fennmaradóképességét miért kellene leválasztanunk a faj egyedei fennmaradóképességének összegéről.

Jobb példa a fajszintű vonásra a következő feltételezés. Képzeliük el, hogy egy bizonyos fajban az összes egyed ugyanolyan életmódot folytat. Például az összes koala eukaliptuszfán él, és kizárólag eukaliptuszleveleket eszik. Az ilyen fajt egyöntetű fajnak nevezhetjük. Egy másik fajban különféle egyedek lehetnek, amelyek más-más módon élnek. Minden egyes egyed lehet ugyanolyan specializált, mint a koalaegyed, de a faj egészében különféle étkezési viselkedéseket találunk. A faj bizonyos tagjai kizárólag eukaliptuszleveleket esznek, mások kizárólag gabonát, mások kizárólag gyökereket, megint mások kizárólag citromhéjat stb. Nevezzük ezt a második típusú fajt változatos fajnak. Azt hiszem könnyű elképzelni olyan körülményeket, amelyek között az egyöntetű faj nagyobb valószínűséggel hal ki, mint a változatos faj. A koalák teljes mértékben az eukaliptuszkészletektől függenek, és a holland szilfavészhez hasonló eukaliptuszkór a végüket jelentené. A változatos fajban viszont a faj *némely* tagja bizonyosan életben maradna akármi-lyen konkrét növénybetegség után is, s a faj fennmaradna. Azt is könnyű elhinni, hogy a változatos fajból nagyobb valószínűséggel sarjad új faj, mint az egyöntetű fajból. Itt talán valódi fajszintű szelekcióval van dolgunk. A rövidlátóságtól vagy a hosszúlábúságtól eltérően az egyöntetűség és a változatosság igazi fajszintű vonás. A baj csak az, hogy az ilyen fajszintű vonásokra nagyon ritkán találunk példát.

Az amerikai evolucionistának, Egbert Leigh-nek van egy érdekes elmélete, amely a valódi fajszintű szelekció lehetséges jelöltjeként értelmezhető, noha amikor ő ezt felvetette, a fajszelekció kifejezés még nem volt divatban. Leigh-t az örök probléma foglalkoztatta, az egyének önzetlen magatartásának kifejlődése. Helyesen ismerte fel, hogy ha az egyéni érdekek ütközésbe kerülnek a faj érdekeivel, akkor az egyéni érdekeknek – rövid távú érdekeknek – kell győzedelmeskedniük. Úgy tűnik, semmi sem állíthatja meg az önző gének menetelését. Leigh azonban a következő érdekes gondolatot veti fel. Kell lenniük olyan csoportoknak vagy fajoknak, amelyekben történetesen az egyén érdeke nagyon közel esik a faj érdekéhez. És kell lenniük olyan fajoknak is, ahol az egyedek érdekei különösen távol esnek a faj érdekeitől. Ha minden más feltétel azonos, akkor a második típusú faj jóval nagyobb valószínűséggel hal ki. A fajszelekció valamilyen formája tehát nem az egyének önfeláldozásának kedvezne, hanem az olyan fajoknak, amelyekben az egyéneket nem *kéri* arra, hogy saját jólétüket áldozzák fel. Ezért azután a látszólag önzetlen egyéni magatartás kifejlődését láthatjuk, mivel a fajszelekció azoknak a fajoknak kedvez, amelyekben az egyedek önérdekét látszólagos önzetlenségük szolgálja legjobban.

A valóban fajszintű vonások talán legrámaibb példáját a szaporodás

módjában találjuk, a szexuális, illetve aszexuális szaporodásban. Olyan okok miatt, amelyeket itt nincs helyem taglalni, a szexuális szaporodás létezése nagy elméleti rejtély a darwinisták számára. Sok évvel ezelőtt R. A. Fisher, aki rendszerint ellenséges volt az egyedi organizmus szintjénél magasabb szintű szelekció mindenféle elgondolásával szemben, kész volt kivételt tenni magával a szexualitással. A szexuális úton szaporodó fajok szerint – ismét csak olyan okok miatt, amikbe nem megyek bele (nem olyan nyilvánvalóak, ahogy az ember gondolná) – gyorsabb evolúcióra képesek, mint az aszexuális úton szaporodó fajok. Az evolúció olyasmi, amit a fajok tesznek, s nem az egyedi szervezetek: nem beszélhetünk evolúción átmenő szervezetről. Fisher tehát azt állította, hogy részben a fajsztű szelekció felelős azért a tényért, hogy a szexuális szaporodás olyan gyakori a mai állatok körében. Ám ha így van, akkor egylépéses szelekcióval van dolgunk, és nem összegző-dő szelekcióval.

Az aszexuális fajok az érvelés szerint azért hálnak ki, mert nem fejlődnek elég gyorsan ahhoz, hogy lépést tartsanak a változó környezettel. A szexuális fajok többnyire nem hálnak ki, mert elég gyorsan fejlődnek a lépéstartáshoz. Ezért azután főképp szexuális fajokat látunk magunk körül. Ám az az „evolúció”, amelynek sebessége a két rendszerben különbözik, az természetesen közönséges darwini evolúció, amely az egyed szintjén összegződő szelekció révén működik. A fajszelekció egyszerű, egylépcsős kiválasztódás, amely csupán két vonás között választ: szexualitás vagy aszexualitás, lassú evolúció vagy gyors evolúció. A szexualitás gépezetét – nemi szerveket, nemi viselkedést, a szexuális sejtosztódás sejtmechanizmusát – bizonyára a szabványos, alacsony szintű, darwini összegződő szelekció hozta létre, és *nem* faji kiválasztódás. Mindenesetre a mai egyetértés azzal a régi elmélettel szemben alakult ki, miszerint a szexualitást valamiféle csoportszintű vagy fajsztű szelekció tartja fenn.

Összefoglalva a fajszelekcióról folytatott eszmefuttatásunkat, a következőt mondhatjuk. Képes megmagyarázni a világon bármely adott időben létező fajok mintázatát. Ebből következik, hogy meg tudja magyarázni a fajok változó mintázatát is, ahol az egyik földtörténeti kor átadja helyét a másiknak, azaz, az őslénytani leletek változó mintázatát. Azonban nem jelentős erő az élet bonyolult gépezeteinek kifejlődésében. A legtöbb, amire képes, hogy választ a különböző alternatív, összetett gépezetek közül, feltéve, hogy ezeket az összetett gépezeteket a valódi darwini kiválasztódás már létrehozta. Mint már korábban is megfogalmaztam, a fajszelekció előfordulhat, de úgy tűnik nem végez különösebben sokat! És most visszatérek a taxonómia és módszereinek tárgyházhoz.

Már szóltam róla, hogy a kladisztikus taxonómiának az az előnye a könyvtárosok taxonómiájával szemben, hogy van egyetlen valóban hierarchikus egymásba ágyazási mintázat a természetben, ami felfedezésre vár. Csupán annyit kell tennünk, hogy kidolgozzuk felfedezésének módszereit. Sajnos vannak gyakorlati nehézségek. A taxonómus legérdekesebb mumusa

az evolúciós konvergencia. Ez olyan fontos jelenség, hogy már egy fél fejezetet szenteltem neki. A 4. fejezetben láttuk, hogy miként találtunk újra és újra olyan állatokat, amelyek a világ más részein élő és velük rokonságban nem levő állatokra hasonlítanak azért, mert hasonló az életmódjuk. Az úvilági sereghangyák hasonlítanak az óvilági hajtóhangyákra. Rejtélyes hasonlatosság alakult ki az egymástól teljesen független afrikai és dél-amerikai elektromos hal között, és a valódi farkasok, valamint a tasmániai *Thylacinus* erszéyes farkas között. Mindezekben az esetekben egyszerűen, bizonyítás nélkül kijelentettem, hogy ezek a hasonlatosságok konvergensek: egymástól függetlenül fejlődtek ki egymással kapcsolatban nem álló állatokkal. De honnan tudjuk, hogy nem rokonok? Ha a taxonómusok a hasonlóságot felhasználják a rokonság mértékének mérésére, akkor miért nem tette őket lóvá az ilyen rejtélyes hasonlóság, ami látszólag egyesíti ezeket az állatpárokat? Vagy hogy a kérdést még aggasztóbb formában fogalmazzam meg, amikor a taxonómusok azt mondják, hogy két állat csakugyan szoros rokonságban áll egymással – mondjuk a mezei nyúl és az üregi nyúl –, honnan tudjuk, hogy a taxonómusokat nem az erőteljes konvergencia csapta be?

A kérdés valóban aggasztó, mivel a taxonómia története bővelkedik olyan esetekben, ahol a későbbi taxonómusok pontosan ez okból állították elődeikről, hogy tévednek. A 4. fejezetben leírtam, hogy egy argentin taxonómus azt állította, a Litopternek a valódi lovak ősei, holott ma már úgy gondoljuk, konvergensai a valódi lovaknak. Az afrikai sündisznóról hosszú időn át azt hitték, szoros rokonságban áll az amerikai sündisznóval, ma már azonban úgy gondoljuk, hogy a két csoport egymástól függetlenül fejlesztette ki tüskés ruháját. A tüskék feltehetőleg hasonló okokból hasznosak voltak mind a két kontinensen. Ki mondhatja meg, hogy a taxonómusok jövőendő nemzedéke nem változtatja-e meg ismét a véleményét? Hogyan vethetjük bizalmunkat a taxonómiába, ha a konvergens evolúció olyan hatásosan kohol csalóka hasonlatosságokat? Magam főként azért vagyok optimista, mert megjelentek a színen a molekuláris biológián alapuló hatások, új eljárások.

Ismétljük meg a korábbi fejezetekből: az összes állat, növény és baktérium, bármilyen különbözőek is legyenek egymástól a felszínen, meghökkenően egyformák, ha lehatolunk a molekuláris alapokig. Legdrámaibban ez magában a genetikai kódban mutatkozik meg. A genetikai szótár 64, egyenként hárombetűs DNS-szóból áll. E szavak mindegyikének pontos fordítása van a fehérjék nyelvén (vagy egy adott aminosav, vagy egy pont). A nyelv úgy tűnik ugyanabban az értelemben önkényes, mint az emberi nyelv (nincs semmi olyasmi a „ház” szó hangképében például, ami a hallgató számára a lakóhely valamely tulajdonságát sugalmazná). Ebből kiindulva nagy jelentősége van annak a ténynek, hogy minden élőlény, függetlenül attól, hogy külső megjelenésében mennyire különbözik másoktól, a gének szintjén pontosan ugyanazt a nyelvet beszéli. A genetikai kód egyetemes. Ezt szinte

döntő bizonyítéknak tekintem arra, hogy az összes szervezet egyetlen közös őstől származott. Szinte elképzelhetetlenül kicsiny annak az esélye, hogy az „önkéntes jelentések” ugyanazon szótára kétszer jelent meg. Amint a 6. fejezetben láttuk, lehet, hogy valaha voltak olyan szervezetek, amelyek eltérő genetikai nyelvet használtak, ezek azonban többé már nincsenek köztünk. Az összes ma élő szervezet egyetlen őstől származott le, amelytől azonos, noha önkényes genetikai szótárt örökölték, mégpedig azonosat a szótár mind a 64 DNS-szavában.

Gondoljunk bele, milyen hatása van ennek a taxonómiára. A molekuláris biológia kora előtt a zoológusok csak olyan állatok rokonságában lehettek bizonyosak, amelyek nagyon sok anatómiai tulajdonságban osztoztak. A molekuláris biológia hirtelen a hasonlatosságok új kincsesládáját nyitotta ki, amivel ki tudja egészíteni az embriológia és az anatómia által kínált soványka listát. A közös genetikai szótár 64 azonossága (a hasonlóság túl gyenge szó) csupán a kezdet. A taxonómia átalakult. A rokonság korábbi homályos becslései statisztikai majdnem bizonyosságokká váltak.

A genetikai szótár teljes, szóról szóra egyetemessége a taxonómus számára túl sok a jóból. Miután megtudtuk belőle, hogy az összes élőlény rokon, nem mondja meg azt, hogy melyik pár közelebbi rokon, mint a többi. Más molekuláris információ azonban meg tudja ezt mondani, mivel itt a hasonlóság különböző fokaival találkozunk, és nem teljes azonossággal. Emlékezzünk rá, a genetikai fordítógép terméke a fehérjemolekula. Minden fehérjemolekula egy mondat, a szótár aminosavszavainak valamilyen láncza. Ezeket a mondatokat el tudjuk olvasni, akár lefordított fehérje formájukban, akár DNS formájukban. Noha az összes élőlénynek közös a szótára, nem ugyanazokat a mondatokat írják fel ebből a közös szótárból. Ez lehetőséget kínál számunkra a rokonság különböző fokainak megállapítására. A fehérjemondatok, miközben részleteikben eltérnek, gyakran hasonlóak általános mintázatukat tekintve. Minden szervezetpár esetében mindig találhatunk olyan mondatokat, amelyek eléggé hasonlóak ahhoz, hogy ugyanazon mondatos kissé „összekevert” változatainak tekintsük. Ezt már láttuk a tehén és a borsó hisztionszekvenciái közötti kisebb különbségek példáján.

A taxonómusok most már pontosan ugyanúgy hasonlíthatnak össze molekulamondatokat, mint ahogy koponyákat vagy lábszárcsontokat. A nagyon hasonló fehérje- vagy DNS-mondatokról feltételezhető, hogy közeli rokonoktól származnak; eltérőbb mondatok távoli rokonoktól eredhetnek. Ezek a mondatok a mindössze 64 szavas egyetemes szótárból épülnek fel. A modern molekuláris biológiában az a szép, hogy két állat különbségét pontosan leírhatjuk azzal, hogy hány szóban különbözik egy adott mondatnak az egyik, illetve a másik állatban található változata. A 3. fejezet genetikai hipertérnek fogalmait használva megmérhetjük, hogy pontosan hány lépés választja el az egyik állatot a másiktól, legalábbis egy adott fehérjemolekula tekintetében.

A molekulaszekvenciák taxonómiai alkalmazásának további előnye,

hogy az egyik befolyásos genetikai iskola, a *neutralisták* szerint (akikkel a következő fejezetben még találkozunk) a molekuláris szinten zajló evolúciós változás nagyrészt *semleges*. Ez azt jelenti, hogy nem a természetes szelekció eredménye, hanem gyakorlatilag véletlenszerű, s ezért a balszerencse ritka eseteitől eltekintve a konvergencia mumusa nem fenyegeti a taxonómust. Ezzel kapcsolatos tény, hogy – mint már láttuk – bármelyik molekulafajta durván állandó sebességgel fejlődik a legkülönbözőbb állatcsoportokban. Azt jelenti, hogy a különbségek száma két állat összehasonlítható molekulái között, például az emberi hemoglobin és a varacskosdisznó hemoglobinja között, jó mércéje annak az időnek, ami közös ősrünk létezése óta eltelt. Egy meglehetősen pontos „molekulaóránk” van. A molekulaóra nem is csak annak a megbecsülését engedi meg számunkra, hogy melyik két állatnak van a hozzánk legközelebbi közös őse, hanem azt is, hogy megközelítőleg *mikor* élt ez a közös őse.

Az olvasót ezen a ponton zavarba ejtheti egy látszólagos következetlenség. Az egész könyv a természetes szelekció mindent elsöprő jelentőségét hangsúlyozza. Hogy lehet akkor most a molekuláris szintű evolúciós változás véletlenszerű voltán a hangsúly? A 11. fejezetből előre hozva erre az a válasz, hogy valójában nincs vita az alkalmazkodás evolúciója tekintetében, márpedig e könyvnek ez a fő témája. Még a legharcosabb neutralista sem gondolja, hogy az olyan összetett szervek, mint a szem vagy a kéz, véletlenszerű sodródás eredményeként fejlődtek ki. Minden épeszű biológus egyetért abban, hogy ezek csak a természetes szelekció által fejlődhettek ki. A neutralisták csupán úgy gondolják – véleményem szerint helyesen –, hogy az efféle adaptáció csak a jéghegy csúcsa: a legtöbb evolúciós változás, ha a molekulák szintjén nézzük, valószínűleg nem funkcionális.

Amennyiben a molekulaórát ténynek tekinthetjük – márpedig úgy tűnik, igaz, hogy minden molekulafajta durván a saját, jellegzetes, millió évenkénti sebességével változik –, felhasználhatjuk az evolúciós fa elágazási pontjainak datálásához. És ha csakugyan igaz, hogy molekuláris szinten a legtöbb evolúciós változás semleges, akkor ez csodálatos ajándék a taxonómus számára. Azt jelenti, hogy a konvergencia problémáját a statisztika fegyverével félresöpörhetjük. Minden állat sejtjeibe a genetikai szöveg hatalmas kötetei vannak beleírva, s e szöveg legtöbbszörének a neutralista elmélet szerint semmi dolga azzal, hogy illeszkedjék az állat sajátos életmódjához; olyan szöveg, amelyet a szelekció nagyrészt érintetlenül hagyott, és jobbára nincs kitéve a konvergens evolúciónak a pusztán véletlentől eltekintve. Kiszámítható annak az esélye, hogy a szelekció szempontjából semleges szöveg két nagy darabja pusztán véletlen folytán hasonlítson egymásra, s ez az esély valóban nagyon kicsiny. S ami még jobb, a molekuláris evolúció állandó sebessége lehetővé teszi számunkra, hogy az evolúció történetében az elágazási pontok *idejét* meghatározzuk.

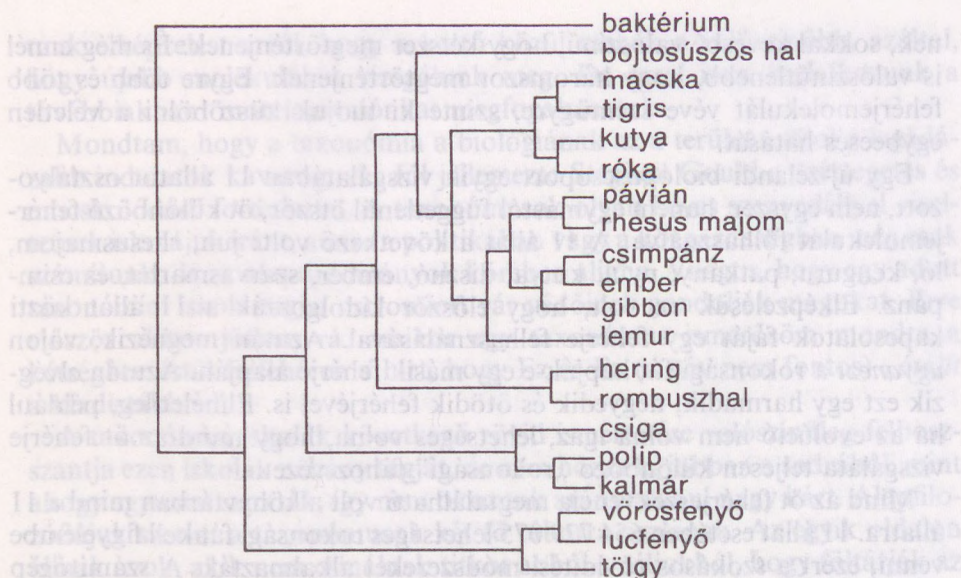
Nem lehet eltúlozni, hogy mekkora többleterőt adtak a taxonómus fegyvertárának az új molekuláris szekvenciaolvasó eljárások. Természetesen

még nem fejtettük meg az összes állat valamennyi molekulamondatát, de már bemehetünk a könyvtárba és felüthetjük a pontos, betű szerinti megfogalmazását mondjuk a kutya, a kenguru, a hangyászün, a csirke, a vipera, a tarajos göte, a ponty és az ember alfa-hemoglobin mondatainak. Nincs minden állatnak hemoglobinja, de vannak más fehérjék, például a hisztonok, amelyeknek egy változata minden állatban és növényben megtalálható, s amelyek közül sokat ismét csak felkutathatunk már a könyvtárban. Ezek nem bizonytalan mértékek, mint a lábhossz vagy a koponyaszélesség, amelyek változhatnak a példány korától és egészségétől függően, vagy akár a mérő látásától. Ezek pontosan megfogalmazott változatai ugyanannak a mondatnak ugyanazon a nyelven, egymás mellé tehetők és összehasonlíthatók éppoly aprólékosan és pontosan, mint ahogy az alapos görög tudós hasonlíthatná össze ugyanannak az evangéliumnak két pergamenjét. A DNS-szekvenciák minden élet evangéliumi írásai, s mi megtanultuk megfejtésüket.

A taxonómusok alapfeltevése az, hogy a közeli rokonok hasonlóbb változatokkal rendelkeznek egy adott molekulamondatból, mint a távolabbi rokonok. Ezt a „takarékoság elvének” nevezik. A takarékoság a fukarság másik elnevezése. Ha van egy állatsoportunk, mely tagjainak mondatai ismertek, mondjuk az előző bekezdésben felsorolt nyolc állaté, akkor az a feladatunk, hogy felfedezzük, hogy az összes lehetséges fadiagram közül, amely a nyolc állatot összekapcsolja, melyik a legtakarékosabb. A legtakarékosabb az a fa, amely a legfukarabban bánik a feltevésekkel abban az értelemben, hogy az evolúciós szóváltozások minimális számát, a konvergencia minimális mennyiségét tételezi fel. A pusztá valószínűtlenség alapján jogunk van feltételezni a konvergencia minimális mennyiségét. Nem valószínű, különösen ha a molekuláris evolúció zöme semleges, hogy két egymással rokonságban nem álló állat pontosan ugyanarra a szekvenciára bukkanjon, szóról szóra, betűről betűre.

Számítási nehézségek merülnek fel, ha megpróbáljuk az összes lehetséges fát szemügyre venni. Amikor csak három állatot kell osztályoznunk, akkor a lehetséges fák száma mindössze három: A-t egyesítjük B-vel és kizárjuk C-t; A-t egyesítjük C-vel, kizárjuk B-t; és B-t egyesítjük C-vel, kizárva A-t. Ugyanezt a számítást elvégezhetjük nagyobb számú osztályozandó állattal is, de a lehetséges fák száma meredeken emelkedik. Amikor csak négy állatot veszünk számításba, akkor az összes lehetséges rokonsági fa teljes száma még mindig a kezelhető 15. A számítógépnek nem tart soká kideríteni, hogy a 15 közül melyik a legtakarékosabb. Ha azonban már húsz állatot vizsgálunk, akkor számításaim szerint a lehetséges fák száma jelentős nagyságú: 8 200 794 532 637 891 559 375 (lásd a 9. ábrát). Kiszámították, hogy a leggyorsabb mai számítógépnek 10 000 millió évig, ami megközelítőleg a világ-egyetem kora, tartana földeríteni a csupán húsz állat legtakarékosabb fáját. Márpedig a taxonómusok gyakran akarnak húsz állatnál többről fát készíteni.

A robbanásszerűen nagy számok problémája, jóllehet éppen a molekulá-



9. ábra. Ez a helyes családfa. 8 200 794 532 637 891 559 374-féle más módon is osztályozható ez a 20 szervezet, de az mind hibás

ris taxonómusok voltak az elsők, akik ebből kivették részüket, a valóságban mindig is ott kísértett a nem molekuláris taxonómiában is. A nem molekuláris taxonómusok ezt egyszerűen azzal kerülték meg, hogy intuitív sejtésekre hagyatkoztak. Az összes lehetséges családfa közül óriási számú fa nyomban kiküszöbölhető, például az elképzelhető családfák közül az a többmilliónyi, amelyek az embereket közelebb helyezik el a földigilisztához, mint a csimpánzhoz. A taxonómusok nem is küszködnek azzal, hogy ilyen nyilvánvalóan abszurd rokonsági fákat figyelembe vegyenek, hanem ehelyett kikötnék annál a viszonylag kis számú fánál, amelyek nem sértik túlságosan durván a prekoncepcióikat. Ez valószínűleg jogos, noha mindig ott van a veszély, hogy a valóban legtakarékosabb fa azok között található, amelyeket megfontolás nélkül félretettünk. A számítógépeket is lehet úgy programozni, hogy rövidítsenek, s így a robbanásszerűen nagy számok problémája tökéletesen visszametszhető.

A molekuláris információ olyan gazdag, hogy osztályozásunkat különböző fehérjékre nézve külön-külön, újra és újra elvégezhetjük. Az egyik molekula tanulmányozásából levont következtetéseinket azután felhasználhatjuk egy másik molekula tanulmányozása alapján kapott következtetéseink ellenőrzésére. Ha az az aggályunk, hogy az egyik fehérjemolekula által elbeszélte történetet a valóságban konvergencia teszi kuszává, akkor azon nyomban ellenőrizhetjük azáltal, hogy megvizsgálunk egy másik fehérjemolekulát. A konvergens evolúció tulajdonképpen a véletlen sajátos esete. A véletlen egybeesésekkel az a helyzet, hogy még ha egyszer meg is történ-

nek, sokkal kevésbé valószínű, hogy kétszer megtörténjenek. És még ennél is valószínűtlenebb, hogy háromszor megtörténjenek. Egyre több és több fehérjemolekulát véve szemügyre, szinte ki tudjuk küszöbölni a véletlen egybeesés hatását.

Egy új-zélandi biológuscsoport egyik vizsgálatában 11 állatot osztályozott, nem egyszer, hanem egymástól függetlenül ötször, öt különböző fehérjemolekulát fölhasználva. A 11 állat a következő volt: juh, rhesusmajom, ló, kenguru, patkány, nyúl, kutya, disznó, ember, szarvasmarha, és csimpánz. Elképzelésük az volt, hogy először kidolgozzák a 11 állat közti kapcsolatok fáját egy fehérje felhasználásával. Azután megnézik, vajon *ugyanezt* a rokonsági fát kapják-e egy másik fehérje alapján. Azután elvégzik ezt egy harmadik, negyedik és ötödik fehérjével is. Elméletileg, például ha az evolúció nem volna igaz, lehetséges volna, hogy mind az öt fehérje vizsgálata teljesen különböző „rokonsági” fához vezet.

Mind az öt fehérjeszekvencia megtalálható volt a könyvtárban mind a 11 állatra. 11 állat esetében 654 729 075 lehetséges rokonsági fát kell figyelembe venni, ezért a szokásos rövidítési módszereket alkalmazták. A számítógép mind az öt fehérjemolekula esetében kiírta a legtakarékosabb rokonsági fát. Így öt, egymástól független becslésünk van arra, hogy melyik az igazi rokonsági fa a 11 állat között. A remélhető legtakarékosabb eredmény az lenne, ha mind az öt becsült fa azonosnak bizonyulna. Annak a valószínűsége, hogy ezt az eredményt a pusztán véletlen hozta létre, csakugyan nagyon kicsi: a számban 31 nulla áll a tizedesvessző után. Nem volna szabad meglepődnünk, ha nem kapnánk ilyen tökéletes egyezést: nagyon is számítanunk kell bizonyos mennyiségű konvergens evolúcióra és véletlen egybeesésre. De aggodalomra adna okot, ha nem találnánk lényeges egyezést a különböző fák között. A valóságban az öt fa, ha nem is bizonyult teljesen azonosnak, nagyon hasonló volt. Mind az öt molekula egyezett abban, hogy az embert, a csimpánzt és a rhesusmajmot egymáshoz közel helyezte el, abban azonban volt némi nézetkülönbség, hogy melyik állat áll legközelebb ehhez a nyalábhoz: a hemoglobin B szerint a kutya; a fibrinopeptid B szerint a patkány; a fibrinopeptid A szerint a patkányból és a nyulból álló nyaláb; a hemoglobin A szerint pedig a patkányból, nyulból és kutyából álló nyaláb.

Van egy meghatározott közös ősrünk a kutyával, és egy másik határozott ősrünk a patkánnyal. Ez a két ős valóban létezett a földtörténet egy adott pillanatában. Egyikük fiatalabb, mint a másik, tehát vagy a hemoglobin B-nek vagy a fibrinopeptid B-nek tévednie kell az evolúciós viszonyokra adott becslésében. Mint már mondtam, az ilyen kisebb eltérések miatt nem kell aggodnunk. Számítunk bizonyos konvergenciára és véletlen egybeesésre. Ha igazából a kutyához állunk közelebb, akkor ez azt jelenti, hogy mi és a patkány közeledtünk egymáshoz a fibrinopeptid B tekintetében. Ha a valóságban a patkányhoz állunk közelebb, akkor ez azt jelenti, hogy mi és a kutya közeledtünk egymáshoz a hemoglobin B tekintetében. Kialakítha-

tunk elképzelést arról, hogy a kettő közül melyik a valószínűbb, azáltal, hogy újabb molekulákat vizsgálunk meg. De ezzel nem foglalkozunk a továbbiakban: mondanivalónkat megfogalmaztuk.

Mondtam, hogy a taxonómia a biológiának az a területe, ahol a legádázabb indulatok kavarnak. Jól jellemezte Stephen Gould a „sértegetés és mocskolódás” fordulattal. A taxonómusok olyan heves szenvedéllyel viselkednek iskolájuk iránt, amire a politikában vagy a közgazdaságban még csak számítnak, de az alaptudományok körében aligha. Világos, hogy egy adott taxonómiai iskola tagjai ostromlott vár védőinek gondolják magukat. Erre először akkor jöttem rá, amikor egy taxonómus ismerősöm mondta a kétségbeeséstől falféheren a hírt, hogy Ez és Ez (a név nem fontos) „átállt a kladistákhoz”.

A taxonómiai iskolák következő rövid ismertetése valószínűleg felboszszantja ezen iskolák néhány tagját, de nem hozza ki jobban a sodrából, mint ahogy egymást szokták, így nem okozunk aránytalanul nagy kárt. Alapfilozófiájuk szerint a taxonómusok két fő táborra oszlanak. Az egyik oldalon állnak azok, akik nem csinálnak titkot abból a céljukból, hogy föltárják az evolúciós viszonyokat. Számukra (és számomra) a jó taxonómiai fa az evolúciós viszonyok családfája. Amikor taxonómiát művelünk, akkor minden rendelkezésünkre álló módszert felhasználunk, hogy a legjobb becslést tegyük az állatok egymáshoz való rokoni viszonyainak szorosságáról. Néhéz nevet találni ezen taxonómusok számára, mivel a kézenfekvő nevet (evolúciós taxonómusok) egy konkrét aliskola már kisajátította magának. Néha „fileticistáknak” hívják őket. Ezt a fejezetet eddig fileticista nézőpontból írtam.

De van sok taxonómus, akik másképp haladnak, mégpedig nagyon is elfogadható okokból. Noha valószínűleg egyetértenek abban, hogy a taxonómia egyik végső célja az evolúciós viszonyok felfedezése, ragaszkodnak ahhoz, hogy a taxonómia *gyakorlatát* különítsük el az elméletétől – feltehetőleg az evolúciós elmélettől –, attól, hogy mi vezetett a hasonlóságok mintázatahoz. Az ilyen taxonómusok a hasonlósági mintázatokat önmagukért tanulmányozzák. Nem mondanak előre ítéletet arról, hogy a hasonlósági mintázatot az evolúció története okozta-e, és hogy a nagyfokú hasonlóság szoros rokoni viszonyt tulajdonítható-e. Taxonómiájukat inkább úgy építik föl, hogy egyedül a hasonlatosság mintázatát veszik figyelembe.

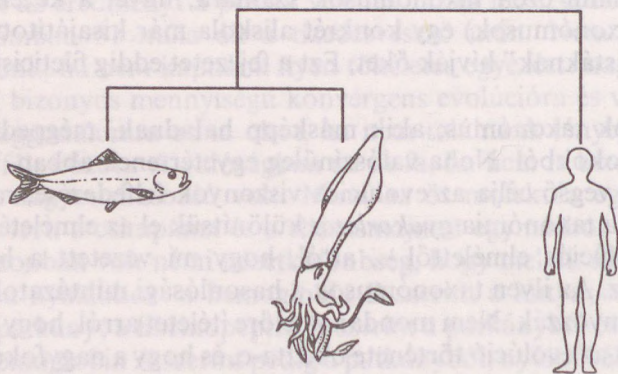
Az az egyik előny ebben, hogy ha bármi kétségünk volna az evolúció igazságát illetően, akkor ezt a hasonlatossági mintázatot felhasználhatjuk ellenőrzésére. Ha az evolúció igaz, akkor az állatok közötti hasonlóságok bizonyos jósolható mintát követnek, nevezetesen a hierarchikus egymásba ágyazódás mintázatát. Ha az evolúció hamis, akkor a jó ég tudja *milyen* mintára kellene számítanunk, de nincs egyértelmű okunk éppen egymásba ágyazott hierarchikus mintát várnunk. Ha a taxonómiád *kialakítása* során feltételezed az evolúciót, állítja ez az iskola, akkor nem használhatod fel taxonómiai munkád eredményeit az evolúció igazságának alátámasztására:

az érvelés körkörös volna. Ennek az okfejtésnek akkor volna ereje, ha bárki is komolyan kételkedne az evolúció igazságában. Megint csak nehéz megfelelő nevet találni a taxonómusok közötti második iskola számára. A „tisztá hasonlatosság mérőinek” fogom őket hívni.

A fileticisták, vagyis azok a taxonómusok, akik nyíltan evolúciós kapcsolatok fölfedezésére törekednek, további két iskolába sorolhatók. Ezek a kladisták, akik a Willi Hennig híres *Filogenetikai szisztematika* című könyvében lefektetett elveket követik; és a „hagyományos” evolúciós taxonómusok. A kladisták az elágazások megszállottjai. Számukra a taxonómia célja annak a sorrendnek a felfedezése, ahogyan a leszármazási vonalak egymástól elváltak az evolúció folyamán. Az nem érdekli őket, hogy az elágazási pont óta ezek a leszármazási vonalak milyen sokat vagy milyen kicsit változtak. A „hagyományos” (a szót *ne* pejoratív értelemben vegyük) evolúciós taxonómusok főleg abban különböznek a kladistáktól, hogy ők nemcsak az evolúció elágazódási módját veszik szemügyre. Ők számításba veszik az evolúció során bekövetkezett változás teljes mennyiségét is, nem csupán az elágazást.

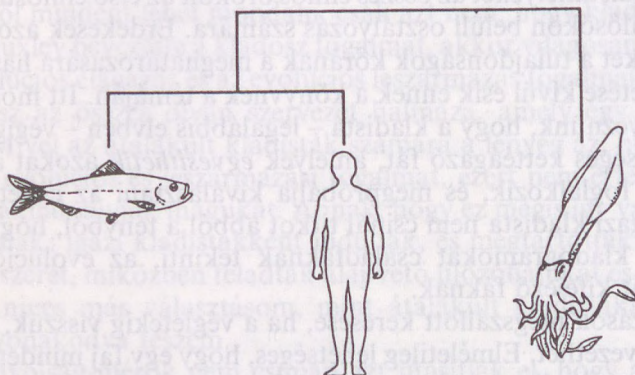
Az okfejtés kedvéért megpróbálunk három állatot, a tintahalat, a heringet és az embert osztályozni, mivel ebben az esetben csupán három lehetséges kétféle ágazó fa van, s ezek a következők.

1. A tintahal és a hering közel állnak egymáshoz, az ember a „kívülálló”:



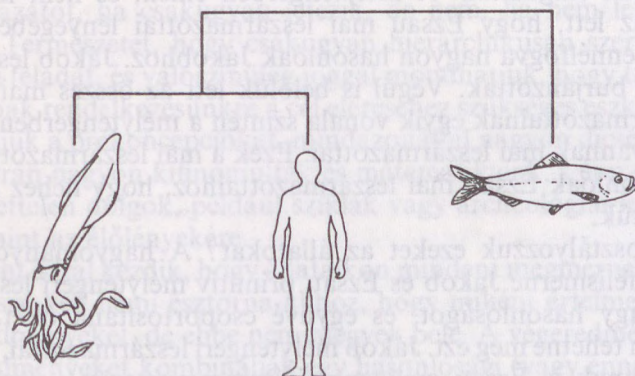
10. ábra

2. Az ember és a hering közel állnak egymáshoz, a tintahal a kívülálló:



11. ábra

3. A tintahal és az ember közel állnak egymáshoz, a hering a kívülálló:



12. ábra

A kladisták egymás után megvizsgálják a három lehetséges fát, majd kiválasztanak a legjobbát. Miként ismerik fel a legjobb fát? Alapjában véve ez az a fa, amely a legtöbb közös tulajdonságot mutató állatokat egyesíti. Kívülállónak nevezzük azt az állatot, amely a legkevesebb közös tulajdonságot mutatja a másik kettővel. Az iménti fák közül a másodikat részesíteneink előnyben, mivel az ember és a hering sokkal több közös tulajdonságot mutatnak egymással, mint a tintahal és a hering vagy a tintahal és az ember. A tintahal a kívülálló, mivel nincs sok közös tulajdonsága sem az emberrel, sem a heringgel.

A valóságban a dolog a közös tulajdonságok pusztá számlálásánál kicsit bonyolultabb, mivel bizonyos fajta tulajdonságokat szándékosan figyelmen kívül hagynak. A kladisták különleges súlyt kívánnak adni azoknak a

tulajdonságoknak, amelyek nemrégiben fejlődtek ki. Azok az ősi tulajdonságok például, amelyeket az összes emlős örökölt az első emlőstől, haszontalanok az emlősökön belüli osztályozás számára. Érdekesesek azok a módszerek, amelyeket a tulajdonságok korának a meghatározására használnak, de ezek ismertetése kívül esik ennek a könyvnek a témáján. Itt most főként azt kell megjegyeznünk, hogy a kladista – legalábbis elvben – végiggondolja az összes lehetséges kettéágazó fát, amelyek *egyesíthetik* azokat az állatokat, amelyekkel foglalkozik, és megpróbálja kiválasztani az egyetlen fát ezek közül. Az igazi kladista nem csinál titkot abból a tényből, hogy az elágazó fákat vagy kladogramokat családfáknak tekinti, az evolúciós rokonság szoros voltát kifejező fáknak.

Az elágazások megszállott keresése, ha a végletekig visszük, furcsa eredményekhez vezethet. Elméletileg lehetséges, hogy egy faj minden részletében *azonos* legyen távoli rokonával, miközben nagymértékben eltér a közelebbi rokonaitól. Vegyünk például két nagyon hasonló halfajt, amelyek 300 millió évvel ezelőtt éltek. Nevezzük el e fajokat Jákobnak és Ézsauinak. Mindkét faj dinasztiaát alapított, amelynek leszármazottai a mai napig élnek. Ézsau leszármazottai stagnáltak. A mélytengerben élnek, és nem fejlődtek. Az eredmény az lett, hogy Ézsau mai leszármazottai lényegében azonosak Ézsauval, s ennél fogva nagyon hasonlóak Jákobhoz. Jákob leszármazottai fejlődtek és burjánzottak. Végül is belőlük lett az összes mai emlős. Ám Jákob leszármazottainak egyik vonala szintén a mélytengerben stagnált, és ugyancsak vannak mai leszármazottai. Ezek a mai leszármazottak halak és annyira hasonlóak Ézsau mai leszármazottaihoz, hogy nehéz különbséget tenni közöttük.

Hogyan osztályozzuk ezeket az állatokat? A hagyományos evolúciós taxonómus felismerné Jákob és Ézsau primitív mélytengeri leszármazottai között a nagy hasonlóságot, és együvé csoportosítaná őket. A szigorú kladista nem tehetné meg ezt. Jákob mélytengeri leszármazottai, bármennyire hasonlítanak is Ézsau mélytengeri leszármazottaira, mégis közelebbi rokonai az emlősöknek. Emlősükkel közös ősök újabb korban éltek, még ha csak egy kicsivel újabb korban is, mint Ézsau leszármazottaival közös ősök. Ezért az emlősökkel sorolandók egy csoportba. Ez furcsának tűnhet, én magam azonban egykedvűen veszem tudomásul. Legalább rendkívül logikus és világos. Csakugyan vannak érényei mind a kladizmusnak, mind a hagyományos evolúciós taxonómiának, s én nem nagyon törődöm azzal, miként osztályozzák az emberek az állatokat, mindaddig, amíg világosan meg tudják mondani nekem, hogy miként járnak el.

Térjünk most rá a másik fontosabb iskolára, a tiszta hasonlatosság mérőire. Ők is két aliskolába csoportosíthatók. Mindkét aliskola megegyezik abban, hogy az evolúciót ki kell zárni mindennapos taxonómusi munkájuk során. Abban azonban nézetkülönbség van köztük, hogy miként haladjanak mindennapos taxonómiai munkájukban. Az egyik iskolát néha „fenetikusoknak”, néha pedig „numerikus taxonómusoknak” nevezik. Én az „átlag-

távolság mérőinek” fogom hívni őket. A hasonlóságsmérők másik iskolája „átalakult kladistáknak” nevezi magát. Nem szerencsés név, mivel ezekről az emberekről mindent lehet mondani, csak azt nem, hogy kladisták! Amikor Julian Huxley bevezette a kladosz fogalmát, akkor világosan és egyértelműen az evolúciós elágazás és az evolúciós leszármazás fogalmaival definiálta. A kladosz az összes olyan szervezet halmaza, amely egy adott őstől származik. Mivel az átalakult kladisták számára a lényeg az, hogy kerüljenek minden evolúciós és leszármazási fogalmat, ezért nem értelmes dolog, hogy kladistáknak hívják magukat. Annak, hogy ez mégis így van, történelmi okai vannak: igazi kladistákként indultak, és megtartották a kladisták néhány módszerét, miközben feladták alapvető filozófiájukat és indokaikat. Azt hiszem nincs más választásom, mint átalakult kladistáknak nevezni őket, noha vonakodva teszem.

Az átlagtávolság-mérők nem csupán azt utasítják el, hogy az evolúciót fölhasználják taxonómiájukban (noha mindannyian hisznek az evolúcióban). Abban is következetesek, hogy még csak föl sem tételezik, hogy a hasonlatosságok mintázata szükségképpen egyszerű szétágazó hierarchia lenne. Olyan módszereket próbálnak alkalmazni, amelyek feltárják a hierarchikus mintázatot, ha csakugyan létezik, de nem, ha nem létezik. Arról faggatják a Természetet, hogy csakugyan hierarchikusan szervezett-e. Ez nem könnyű feladat, és valószínűleg joggal mondhatjuk, hogy tulajdonképpen nem állnak rendelkezésünkre a cél eléréséhez szükséges eszközök. A cél, hogy elkerüljük a prekoncepciókat, mindazonáltal nagyon dicséretes. Módszereik gyakran nagyon kifinomultak és matematikaiak, s épp olyan alkalmasak az élettelen dolgok, például sziklák vagy archeológiai leletek osztályozására, mint az élőlényekére.

Rendszerint azzal kezdik, hogy állataikon mindent megmérnek, amit csak tudnak. Persze kell némi észterna ahhoz, hogy miként értelmezzük ezeket a mérési eredményeket, de ebbe nem megyek bele. A végeredmény az, hogy a mérési eredményeket kombinálják egy hasonlósági (vagy ennek ellentéte: különbözőségi) mutatóba, minden egyes állat és az összes többi állat között. Ha akarjuk, az állatokat térbeli pontfelhőkként vizualizálhatjuk. A patkányokat, egereket, hörcsögöket stb. a tér egyik részén találjuk. Tőlük távol, a tér egy másik részén másik kis felhő látható, amely tartalmazza az oroszlánokat, tigriseket, párducokat, gepárdokat stb. A tér két pontja közötti távolság annak mértéke, hogy a két állat mennyire hasonlít egymásra, amikor sok tulajdonságukat kombináljuk. Az oroszlán és a tigris között kicsi a távolság. Ugyanígy kis távolság van a patkány és az egér között. De a patkány és a tigris vagy az egér és az oroszlán között a távolság nagy. A tulajdonságok kombinálását rendszerint számítógépek segítségével végzik. Az a tér, amelyben ezek az állatok elhelyezkednek, felszínesen Biomorforszákra hasonlít, ám a „távolságok” testi hasonlatosságokat tükröznek, és nem genetikaiakat.

Miután a számítógép kiszámította minden egyes állat és az összes többi

állat közötti átlagos hasonlóság (vagy távolság) mutatóját, azután végigpásztázza a távolságok/hasonlóságok halmazát, és megpróbálja valamilyen hierarchikus csoportosítási mintába illeszteni. Sajnos sok vita van afelől, hogy pontosan melyik számítási módszer kell alkalmaznunk, amikor összefüggő nyalábok vagy klaszterek után kutatunk. Nincs egyedüli, magától értetődően helyes módszer, és a módszerek nem mind adnak azonos választ. Ami még rosszabb, lehetséges, hogy ezeknek a számítógépes módszereknek némelyike túlságosan is „buzgó” abban, hogy a klasztereken belül hierarchikusan elrendezett klasztereket „lásson” akkor is, amikor nincsenek. Az utóbbi időben a távolságmérő vagy numerikus taxonómusok iskolája kissé divatjamúltná vált. Nézetem szerint ez csak időleges, ahogy a divat általában, és az efféle numerikus taxonómiát semmiképpen sem lehet könnyedén leírni. Arra számítok, hogy újra divatba jön.

A tiszta mintázat mérőinek másik iskolája az, amely magát mint már láttuk történeti okokból, átalakult kladistáknak nevezi. Főként ebből a csoportból ered a sok szitok. Nem követem a szokásos gyakorlatot, és nem kísérem végig történeti eredetüket az igazi kladisták soraitól. Filozófiájuk alapján az úgynevezett átalakult kladisták több közös vonást mutatnak a tiszta mintamérők másik iskolájával a numerikus taxonómusokkal. Közös bennük a viszolygás attól, hogy az evolúciót belevonják a taxonómia gyakorlatába, noha ez nem *szükségképpen* jelez ellenségességet magának az evolúciónak a gondolatával szemben.

Az átalakult kladisták és a valódi kladisták között a sok közös módszer a kapocs. Mindkét társaság kezdettől fogva kétfelé ágazó fákban gondolkodik. Mindketten kiemelnek bizonyos tulajdonságokat, mint taxonómiai szempontból fontosakat, és másokat, mint taxonómiai szempontból értékteleneket. A megkülönböztetésre adott indokaikban különböznek egymástól. Az átlagostávolság-mérőkhöz hasonlóan az átalakult kladisták nem családfák fölfedezésére törekszenek. A tiszta hasonlatosság fáit keresik. Egyeznek abban is az átlagtávolság-mérőkkel, hogy nyitva hagyják a kérdést: a hasonlatossági mintázatok vajon az evolúciós történetet tükrözik-e. Ám eltérően a távolságmérőktől, akik legalábbis elméletben készek a Természetre hagyni, hogy megmondja, ténylegesen hierarchikus-e a szerveződése, az átalakult kladisták ezt *feltételezik*. Számukra axióma, hittétel, hogy a dolgokat elágazó hierarchiákba kell osztályozni (vagy ami ezzel egyenértékű, egymásba ágyazódó rendszerekbe). Mivel az elágazó fa független az evolúciótól, nem feltétlenül kell élő dolgokra alkalmazni. Az átalakult kladisták módszereit, híveik szerint, föl lehet használni nem csupán állatok és növények osztályozására, hanem kövek, bolygók, könyvtári könyvek és bronzkori agyagedények osztályozására is. Más szóval nem fogadják el azt a tételt, amit én a könyvtárral összehasonlítva állítottam föl, s amely szerint az evolúció az egyetlen szilárd alap a sajátosan hierarchikus osztályozás számára.

Az átlagostávolság-mérők, mint láttuk, azt mérik, hogy az egyes állatok milyen messze esnek a többitől, ahol a „messze” azt jelenti, hogy „nem

hasonlít”, a „közel” pedig azt jelenti: „hasonlít”. Csak miután a hasonlóság valamilyen összegzett átlagos mutatóját kiszámították, kezdik el eredményeiket elágazó klaszter a klaszterben hierarchiaszerű vagy fadiagram alapján értelmezni. Az átalakult kladisták azonban a valódi kladistákhoz hasonlóan, kezdettől fogva klaszterekben, ágakban gondolkodnak. A valódi kladistákhoz hasonlóan, legalábbis elvben, azzal kezdenék, hogy leírják az összes lehetséges kétfelé ágazó fát, majd pedig kiválasztják a legjobbat.

De miről beszélnek valójában, amikor minden egyes lehetséges fát vizsgálatnak vetnek alá, és mit értenek a legjobb fán? A világ milyen hipotetikus állapotának felelnek meg az egyes fák? Az igazi kladista, W. Hennig követője számára a válasz nagyon egyértelmű. A négy állatot egyesítő 15 lehetséges fa mindegyike egy lehetséges családfát képvisel. A négy állatot egyesítő 15 elképzelhető családfa közül szükségképpen egy és csak egy a helyes. Az állatok őseinek története a világban ténylegesen végbement dolog. 15 lehetséges történetünk van, ha azzal a feltevessel élünk, hogy minden elágazás kétágú elágazás. A lehetséges történetek közül 14-nek tévesnek kell lenni. Csupán egy lehet helyes; egy felelhet meg a megtörtént dolgoknak. A nyolc állatban kicsúcsosodó 135 135 lehetséges családfa közül 135 134 szükségképpen téves. Csupán egyetlen egy képviseli a történelmi igazságot. Lehet, hogy nem könnyű megbizonyosodni arról, hogy melyik a helyes, de a valódi kladista legalább abban bizonyos lehet, hogy egynél nem több a helyes.

De vajon az átalakult kladista evolúciós világában minek felel meg a 15 (vagy 135 135 vagy akár mennyi) lehetséges fa, és az egyetlen helyes fa? A válasz nem valami sok, ahogy kollégám és volt diákom, Mark Ridley rámutatott az *Evolúció és osztályozás* című könyvében. Az átalakult kladista nem hajlandó megfontolásra érdemes szempontjai közé fölvenni a *leszármazás* fogalmát. Az ő számára csúnya szó. Másfelől viszont határozottan állítja, hogy az osztályozásnak elágazó hierarchiának kell lenni. Node, ha a 15 (vagy 135 135) lehetséges hierarchikus fa nem az ősök történetének fája, akkor mi az ördög? Nem maradt más hátra, mint hogy az ókori filozófiához folyamodjanak valamilyen ködös, idealista elgondolásért, amely szerint a világ egyszerűen hierarchikusan szerveződik; olyasmi elgondolásért, hogy a világban mindennek megvan a maga ellentéte, a maga misztikus jinje vagy jangja. Ennél sohasem lesz sokkal konkrétabb. Az átalakult kladista nem evolúciós világában semmiképpen sem lehetséges határozott és egyértelmű állításokat megfogalmazni, mint például „a hat állatot egyesítő 945 lehetséges fa közül csupán egy lehet helyes; az összes többinek hibásnak kell lenni”.

Miért csúnya szó az ő az átalakult kladista számára? (Remélem) nem arról van szó, hogy szerintük sohasem voltak ősök. Arról van inkább szó, hogy úgy határoztak, az ősöknek nincs helyük a taxonómiában. Ez védhető álláspont mindaddig, amíg a taxonómia mindennapos gyakorlatáról van szó. Nincs olyan kladista, aki hús-vér őseket építene be a családfába, noha a hagyományos evolúciós taxonómusok ezt néha megteszik. A kladisták,

akármilyen fajtába tartozzanak is, a valóságos, megfigyelt állatok közötti összes viszonyt *rokonságként*, pusztá forma dolgaként kezelik. Ez tökéletesen elfogadható. Ami nem fogadható el az az, hogy ebből tabut állítsunk föl már magával az ősök *fogalmával* szemben is, azzal szemben, hogy a leszármazás nyelvének felhasználásával igazoljuk, hogy miért választjuk a hierarchikusan elágazó fát taxonómiánk alapjául.

Mostanra hagytam a taxonómia átalakult kladista iskolájának legfurcsább vonulatát. Ez nem elégszik meg azzal a tökéletesen értelmes vélekedéssel, miszerint fölhozható valami amellet, hogy a taxonómia *gyakorlatából* hagyjuk ki az evolúciós és leszármazási feltevéseket, amely vélekedésben osztoznak a feneticista távolságmérőkkel, hanem néhányan átesnek a ló túlsó oldalára, és arra a következtetésre jutnak, hogy valami magával az evolúcióval sem stimmel! Ez a tény szinte annyira bizarr, hogy nehezőnkre esik hitelt adni neki, ám néhány vezető átalakult kladista kimondottan ellenséges magának az evolúciónak az eszméjével, különösen pedig az evolúció Darwin-féle elméletével szemben. Kettejük, G. Nelson és N. Platnick a New York-i Amerikai Természeti Múzeum munkatársai odáig mentek, hogy ezt írták: „A darwinizmus... röviden olyan elmélet, amelyet próbának vetettünk alá és hamisnak találtuk.” Nagyon szeretném tudni, hogy mi az a „próba”, s méginkább, hogy milyen alternatív elmélettel magyarázná Nelson és Platnick azokat a jelenségeket, amelyeket a darwinizmus magyaráz, különösen az adaptív komplexitást.

Nem arról van szó, hogy bármelyik átalakult kladista is fundamentalista teremteshívő volna. Értelmezésem szerint túlzott jelentőséget tulajdonítanak a taxonómiának a biológiában. Úgy határoztak, talán helyesen, hogy jobban tudnak dolgozni a taxonómia területén, ha elfeledkeznek az evolúcióról, különösen, hogyha sohasem használják az ősök fogalmát a taxonómiában. Ugyanígy, mondjuk az idegsejtek kutatója határozhat úgy, hogy nem segíti őt, ha az evolúcióról gondolkodik. Az idegspecialista egyetért abban, hogy az idegsejtek az evolúció termékei, de erre a tényre nincs szüksége a kutatásában. Sokat kell tudnia a fizikáról és a kémiáról, de úgy gondolja, a darwinizmus lényegtelen az idegimpulzusok nap-nap utáni kutatásában. Ez védhető álláspont. De nem mondhatjuk azt értelmesen, hogy azért, mert egy adott elméletre nincs szükségünk a mindennapos gyakorlatunkban a tudomány valamelyik ágában, azért ez az elmélet *hamis*. Ilyesmit csak akkor mondhatunk, ha jócskán túlbecsöljük saját tudományágunk jelentőségét.

Ám még ha így is van, akkor sem logikus. A fizikusnak bizonyára nincs szüksége a darwinizmusra a munkájában. Azt is gondolhatja, hogy a biológia a fizikához képest triviális téma. Ebből következőleg lehet az a nézete, hogy a darwinizmusnak csekély jelentősége van a tudomány számára. De ép ésszel ebből még nem következtethet arra, hogy ennél fogva *hamis*! Mégis lényegében ez az, amit az átalakult kladisták iskolájának néhány vezetője tett. „Hamis”, jól jegyezzük meg, Nelson és Platnick pontosan ezt a szót használták. Mondanunk sem kell, szavaikat azon nyomban vették azok az

érzékeny mikrofonok, amelyekről az előző fejezetben szóltam, aminek eredménye jelentős publicitás volt. Tiszteletre méltó helyet vívtak ki maguknak a fundamentalista, teremtéshívő irodalomban. Amikor az egyik vezető átalakult kladista nemrégiben vendég előadóként az egyetemünkre jött, nagyobb hallgatóságot vonzott, mint az év bármelyik más vendég előadója! Nem nehéz belátni, miért.

Egyáltalán nem kétséges, hogy az olyan megjegyzések, mint „a darwinizmus olyan elmélet, amelyet próbának vetettünk alá és hamisnak találtunk”, amikor egy tekintélyes nemzeti múzeumban dolgozó ismert biológusok szájából hangzik el, olyan mint a falat kenyér azok számára, akiknek érdekük, hogy hamisságokat vigyenek véghez. Ez az egyedüli oka, hogy az olvasót egyáltalán fárasztottam az átalakult kladizmus témájával. Ahogy Mark Ridley szelidebben fogalmazza Nelson és Platnicknak arról a könyvről írt ismertetőjében, amelyben a darwinizmus hamisságára vonatkozó megjegyzésük elhangzott: ki sejtette volna, hogy csupán azt akarták mondani, hogy az elődfajokat kacifántos dolog kladista osztályozásban ábrázolni? Természetesen nehéz meghatározni őseink pontos kilétét, és jó érvek hozhatók fel a mellett, hogy akár meg se próbáljuk. De olyan kijelentéseket tenni, amely másokat arra a következtetésre biztat, hogy soha nem is *voltak* ősök, az szerintem visszaélés a nyelvvel és elárulása az igazságnak.

11. FEJEZET

Kudarcra ítélt riválisok

Komoly biológus nem kételkedik abban a tényben, hogy evolúció lezajlott, és abban sem, hogy az összes élőlény rokona egymásnak. Vannak azonban biológusok, akiknek kételyeik vannak Darwinnak azzal a konkrét elméletével kapcsolatban, hogy *miként* zajlott le az evolúció. Néha kiderül, hogy ez csupán a szavak körüli vita. A szaggatott evolúció elméletét például be lehet állítani antidarwinistának. Ám ahogy a 9. fejezetben kifejtettem, csupán a darwinizmus kisebb jelentőségű változata, és nem illeszthető a rivális elméletekről szóló fejezetbe. De vannak más elméletek, amelyek a leghatározottabban *nem* változatai a darwinizmusnak, olyan elméletek, amelyek szöges ellentétben állnak a darwinizmus szellemével is. Ezekről a rivális elméletekről szól ez a fejezet. Ide tartoznak az úgynevezett lamarckizmusnak a különböző változatai; valamint más nézetek, például a neutralizmus, a mutacionizmus és teremteselvűség, amelyeket időről időre a darwini kiválasztódás alternatíváiként sorakoztattak föl.

A rivális elméletek közötti választás kézenfekvő módja, hogy megvizsgáljuk a bizonyítékokat. A Lamarck típusú elméleteket például hagyományosan azért vetik el – és joggal –, mert sohasem találtak számukra alkalmas bizonyítékot (nem minthogyha nem tettek volna rá erőteljes próbálkozásokat, sőt némely esetben a rajongó hívek készek voltak bizonyítékokat hamisítani is). Ebben a fejezetben más megoldáshoz folyamodom, jórészt azért, mert már annyi más könyv vizsgálta meg a bizonyítékokat és döntött a darwinizmus mellett. Ahelyett, hogy megvizsgálنام a rivális elméletek mellett és ellen szóló bizonyítékokat, én inkább egy íróasztal mellett gyártott megközelítésért szállok síkra. Érvelésem veleje, hogy a darwinizmus az egyetlen ismert elmélet, amely elvben *képes* megmagyarázni az élet bizonyos vonásait. Ha ebben igazam van, akkor ez azt jelenti, hogy még ha nem is volnának tényleges bizonyítékok a darwini elmélet mellett (noha természetesen vannak), akkor is joggal részesítenénk előnyben az összes rivális elmélet ellenében.

Ezen állítás dramatizálásának egyik módja, ha jóslatot mondunk. Azt jósolom, hogy ha az élet valamilyen formáját valaha is fölfedezzük a világegyetem egy másik részében, ez az életforma bármilyen szokatlan és furcsán idegen legyen is részleteiben, egy lényeges tekintetben hasonlítani fog a földi életre: a darwini természetes szelekció valamilyen formáján keresztül fejlőd-

dött ki. Sajnos olyan jóslat ez, amit minden valószínűség szerint képtelenek leszünk ellenőrizni életünkben, de attól még jó lehetőséget nyújt arra, hogy bolygónk életéről egy fontos igazságot dramatizáljunk. Darwin elmélete elvben képes megmagyarázni az életet. Nem vetettek föl még más elméletet, amely elvben képes az élet megmagyarázására. Ezt azzal fogom bizonyítani, hogy megvitatom az összes ismert rivális elméletet, nem az ellenük szóló bizonyítékokat, hanem azt, mennyire alkalmasak elvben az élet magyarázata gyanánt.

Először meg kell határoznom, hogy mit jelent az élet „megmagyarázása”. Természetesen van az életnek sok tulajdonsága, amelyet fel tudunk sorolni, és amelyek némelyike magyarázható a rivális elméletekkel is. A fehérjemolekulák eloszlásával kapcsolatos sok tény, mint láttuk, tulajdonítható semleges genetikai mutációknak, és nem darwini kiválasztódásnak. Van azonban az élőlényeknek egy adott tulajdonsága, amelyre rá szeretnék mutatni mint olyanra, amely *csak* a darwini kiválasztódás segítségével magyarázható. Ez a tulajdonság pedig e könyv visszatérő témája: az alkalmazkodó komplexitás. Az élő szervezetek jól alkalmazkodnak ahhoz, hogy életben maradjanak és szaporodjanak a környezetükben, és ezek az alkalmazkodási módok olyan számosak és statisztikailag valószínűtlenek, hogy nem jöhettek létre egyetlen véletlen esemény hatására. Paley-t követve a szem példáját hoztam fel. Az még talán elképzelhető, hogy a szem két vagy három „jól megkonstruált” tulajdonsága egyetlen szerencsés véletlen folytán jött létre. A látáshoz és egymáshoz jól alkalmazkodó, egymással összefonódó részeknek már a puszta száma is akkora, ami a véletlenül túlmenő sajátos magyarázatot követel. Természetesen a darwini magyarázatnak is része a véletlen, a mutáció formájában. De a véletlent összegződő módon szűri meg a szelekció lépésről lépésre, sok nemzedéken keresztül. Más fejezetek megmutatták, hogy ez az elmélet képes az alkalmazkodó komplexitásra kielégítő magyarázatot nyújtani. Ebben a fejezetben azt fogom kifejteni, hogy az összes többi ismert elmélet *alkalmatlan* erre.

Vegyük először a darwinizmus legkiemelkedőbb történelmi vetélytársát, a lamarckizmust. Amikor a lamarckizmust a 19. század elején először megfogalmazták, akkor nem a darwinizmus riválisaként jelentkezett, mivel a darwinizmust akkor még nem találták ki. Lamarck előtte járt korának. Ő egyike volt azoknak a 18. századi entellektüeleknek, akik az evolúció mellett szálltak síkra. Ebben igaza volt, és már csak ezért is rászolgált nagyrabecsülésünkre, Charles Darwin nagyapjával, Erasmussal és másokkal egyetemben. Lamarck az evolúció mechanizmusának legjobb elméletét kínálta, amivel akkoriban bárki is előállhatott, de nincs okunk feltételezni, hogy ha a mechanizmus Darwin-féle elmélete akkor már létezett volna, akkor ő elvetette volna. De nem volt meg, és Lamarck balszerencséje, hogy – legalábbis az angol nyelvű világban – a neve egy hibával kapcsolódott össze – az evolúció *mechanizmusára* vonatkozó elméletével – s nem az evolúció tényének helyes hitével. Ez nem tudománytörténeti könyv, így hát

nem próbálom meg tudományos alapossággal kielemezni, mit állított maga Lamarck. Volt egy adag miszticizmus Lamarck tényleges szavaiban, például erőteljesen hitt a felfelé haladásban, amiről sok ember még ma is úgy véli, hogy az élet létrája; és az állatok küzdelméről úgy beszélt, mintha valamilyen értelemben tudatosan fejlődni akartak volna. Kivonom a lamarckizmusból azokat a nem misztikus elemeket, amelyeket legalábbis első pillantásra érdemes felvetni a darwinizmus valódi alternatívájaként. Ez lényegében két elemet jelent, egyben azokat, amelyeket a modern neolamarckisták magukévá tettek: a szerzett tulajdonságok öröklődése és a használat és nem használat elve.

A használat és nem használat elve azt mondja ki, hogy a szervezet testének azok a részei nagyobbra nőnek, amelyeket használ. Azok a részek, amelyeket nem használ, elsorvadnak. Megfigyelésből származó tény, hogy ha edzzük adott izmainkat, akkor azok megnövekednek; a sohasem használt izmok összezsugorodnak. Ha megvizsgáljuk egy ember testét, meg tudjuk mondani, mely izmokat használja és melyeket nem. Még a szakmáját vagy azt is ki tudjuk találni, mivel tölti a szabadidejét. A testépítés kultuszának rajongói a használat és nem használat elvét használják föl testük „felépítéséhez”, szinte olyanná, mint egy szobor, bármilyen természetellenes alakot követeljen is meg a divat ebben a sajátos kisebbségi kultúrában. Az izmok nem az egyedüli részei a testnek, amelyek efféle módon reagálnak a használatra. Járj mezítláb, és vastagabb bőr lesz a talpadon. Már egyedül azáltal is könnyen meg tudjuk különböztetni a gazdát a banktisztviselőtől, hogy megnézzük a kezüket. A gazda kezei kérgesek a hosszú időn át végzett, durva munkától. Ha a banktisztviselő keze kérges egyáltalán, akkor az csupán egy kis bőrkeményedés az ujján a sok írástól.

A használat és nem használat elve lehetővé teszi az állatok számára, hogy nagyobb hatásokkal végezzék a világukban való életben maradás munkáját, életük során egyre sikeresebbek legyenek annak következtében, hogy ebben a világban élnek. Az embereknel, azáltal, hogy közvetlenül ki vannak-e téve a napfénynek vagy sem, olyan bőrszín fejlődik ki, amely az adott helyi feltételek közepette jobb alkalmazkodást nyújt. A túl sok napfény veszélyes. A fehér bőrű napimádók könnyen bőrrákot kaphatnak. A túl kevés napfény viszont D-vitamin-hiányhoz és angolkórhoz vezet, amivel néha a Skandináviában élő öröklött fekete gyerekeknél is találkozunk. A melaninnak nevezett barna festék, amelyet a napfény hatása alatt szintetizálunk, védőernyőt képez az alatta húzódó szövetek számára, oltalmul a további napfény káros hatásai ellen. Ha egy napbarnított ember kevésbé napos éghajlatra költözik, akkor a melanin eltűnik, s a test képes lesz jobban hasznosítani az ott levő kevés napfényt. Ezt bemutathatjuk a használat és nem használat elv eseteként: a bőr lebecsül, amikor „használjuk”, és fehérre fakul, amikor „nem használjuk”. Néhány trópusi emberfajta természetesen vastag melaninszűrőt örököl, akár ki vannak téve egyedekeként a napfénynek, akár nem.

Térjünk most rá a másik fő Lamarck-féle elvre, arra az elgondolásra, hogy ezek a szerzett tulajdonságok azután átöröklődnek a jövőző nemzedékekre. Minden bizonyítékunk azt mutatja, hogy ez az elgondolás téves, de a történelem legnagyobb részén át igaznak hitték. Lamarck nem föltalálta, hanem egyszerűen csak beépítette elméletébe korának népi bölcsességét. Bizonyos körökben ma is hisznek benne. Anyámnak volt egy kutyája, amely időnként lesántult, az egyik hátsó lábát föltartotta, és a másik három ugrált. Az egyik szomszédunknak volt egy öregebb kutyája, amely szerencsétlen módon egy autóbalesetben elveszítette az egyik hátsó lábát. A szomszéd meg volt győződve, hogy az ő kutyája az anyám kutyájának az apja, s a bizonyíték erre az volt, hogy nyilvánvalóan örökölte a sántaságot. A népi bölcsesség és a mesék tele vannak hasonló legendákkal. Sok ember vagy hisz, vagy szeretne hinni a szerzett tulajdonságok öröklődésében. Egészen századunkig ez volt az öröklődés uralkodó elmélete a komoly biológusok körében is. Darwin maga is hitt benne, de nem volt része evolúcióelméletének, s így az ő neve nem kapcsolódik össze vele a fejünkben.

Ha összekapcsoljuk a szerzett tulajdonságok öröklődését a használat és nem használat elvével, akkor kiváló receptet kapunk az evolúciós tökéletességhez. Ez az a recept, amit közönségesen az evolúció lamarckista elméletének neveznek. Ha egymást követő nemzedékek talpa megkérgesedik, mivel mezítláb járnak a durva földön, akkor az elmélet szerint minden egyes nemzedék egy kicsit keményebb bőrt fog örökölni, mint az előző nemzedék. Mindegyik nemzedéknek előnye lesz elődeivel szemben. Végül a kisbabák már eleve megvastagodott talpbőrrel születnek (ami történetesen igaz lehet, noha mint látni fogjuk, más okból). Ha egymást követő nemzedékek sütkéreznek a trópusi napon, akkor egyre barnábbak lesznek, ahogy a Lamarck-féle elmélet szerint az egyes nemzedékek örökölnék valamennyit az előző nemzedék barnaságából. Idővel feketének fognak születni (ami voltaképpen megint csak igaz lehet, de nem a Lamarck-féle ok miatt).

A legendás példák a kovács karja és a zsiráf nyaka. Az olyan falvakban, ahol a kovács örökölte mesterségét apjától, nagyapjától és dédapjától, úgy gondolták, hogy örökli felmenőinek jól fejlett izmait is. Nem is csak hogy örökli őket, hanem a saját gyakorlatával hozzájuk is tesz, és ezt a tökéletességet tovább adja fiának. A rövid nyakú zsiráfösöknek rettentő nagy szükségük volt rá, hogy elérjék a fák magasán levő leveleit. Hatalmas erővel ágaskodtak, és ezáltal nyújtották meg izmaikat és csontjaikat. Minden nemzedéknek egy kicsivel hosszabb nyaka lett, mint elődjének, és kiindulásként ezt adta tovább a következő nemzedéknek. A tiszta Lamarck-féle elmélet szerint minden evolúciós haladás ezt a mintát követi. Az állat küzd valamiért, amire szüksége van. Ennek következtében a küszködésben használt testrészek megnagyobbodnak vagy egyéb módon a kívánt irányban változnak. A változás öröklődik a következő nemzedékre, s a folyamat folytatódik. Ennek az elméletnek az az előnye, hogy összegződő, ami lényeg-

ges adaléka minden evolúcióelméletnek, ha – amint már láttuk – teljesíteni akarja szerepét világnézetünkben.

A lamarckista elméletnek úgy tűnik érzelmi vonzereje van bizonyos típusú értelmiségiek és laikusok számára. Egyszer odajött hozzám egy kollégám, egy nagyrabecsült marxista történész, nagyon művelt és olvasott férfi. Azt érti, mondta, hogy minden tény a lamarcki elmélettel szemben áll, de vajon csakugyan nincs remény, hogy esetleg mégis igaza lehet? Megmondtam neki, hogy véleményem szerint semmi remény, és ezt ő el is fogadta őszinte sajnálattal, mondván, hogy ideológiai okokból szerette volna, ha a lamarckizmus igaz lenne. Olyan pozitív reményeket látszott kínálni az emberiség jobbra tétele számára. George Bernard Shaw egyik könyvének előszavát (*Vissza Matuzsálemhez*) a szerzett tulajdonságok öröklődése szenvedélyes védelmezésének szentelte. Érvei nem biológiai ismereteken nyugodtak, vidáman elismerte volna, hogy azoknak tökéletesen híjával van. A darwinizmusnak, a „véletlenek fejezetének” következményeitől való érzelmi vonakodásán alapultak:

„Egyszerűnek látszik, mert az ember először nem jön rá, hogy mi mindennel jár. Ám amikor ráébredünk teljes jelentőségére, akkor a szívünk olyan nehéz lesz, mint az ólom. Szörnyű fatalizmus van benne, kísérteties és átkozott csonkítása a szépségnek és értelemnek, erőnek és célnak, becsületnek és törekvésnek.”

Egy másik kiváló író Arthur Koestler volt, aki nem szenvedhette, amit a darwinizmus következményeinek látott. Stephen Gould rosszmájúan, de helyesen jegyzi meg, Koestler az utolsó hat könyvében „kampányt folytatott az ellen, ahogy a darwinizmust félreértette”. Olyan alternatívában keresett menedéket, ami számomra sohasem vált teljesen világossá, de ami értelmezhető a lamarckizmus valamilyen ködös változataként.

Koestler és Shaw individualisták voltak, aki saját fejük után mentek. Az evolúcióról vallott különc nézeteik valószínűleg nem gyakoroltak túlságosan nagy befolyást, noha emlékszem, tinédzserként saját értékelésemet a darwinizmusról szégyenszemre legalább egy évre visszavetette Shaw elbűvölő retorikája a *Vissza Matuzsálemhez* c. könyvében. A lamarckizmus érzelmi vonzereje és a darwinizmussal szemben táplált ezzel együttjáró ellenséges érzület, olykor ártalmasabb hatással is járt a gondolatok helyettesítőjeként használt nagyhatalmú ideológiák közvetítésével. T. D. Liszenkó másodrangú növénytermesztő volt, akinek a politika területén kívül nem voltak érdemei. Mendel-ellenes fanatizmusa és a szerzett tulajdonságok öröklődésébe vetett buzgó, dogmatikus hite a legtöbb civilizált országban az ismeretlensége miatt ártalmatlan maradt volna. Sajnos történetesen olyan országban élt, ahol az ideológia akkoriban fontosabb volt, mint a tudományos igazság. 1940-ben őt nevezték ki a Szovjetunió Genetikai Intézetének igazgatójává, és rendkívüli hatalomra tett szert. A Szovjetunióban egy nemzedéken át egyedül az ő tudománytalan nézeteit volt szabad tanítani a genetikáról. Felbecsülhetetlen kárt okozott a szovjet mezőgazdaságban. Sok kiváló szovjet genetikust tiltottak el a tudománytól, küldtek száműzetésbe vagy

zártak börtönbe. Például N. I. Vavilov, a világhírű genetikus a rosszul tápláltságtól halt meg egy ablaktalan börtöncellában, miután hosszú bírósági tárgyalást kellett elszenvednie neveléségesen koholt vádak miatt, egyebek között azért, mert állítólag kémkedett a briteknek.

Nem lehet bebizonyítani, hogy a szerzett tulajdonságok sohasem öröklődnek. Ugyanezen oknál fogva sohasem bizonyíthatjuk be, hogy nem léteznek tündérek. Annyit mondhatunk csupán, hogy még sohasem erősítették meg azokat a beszámolókat, amikor tündért láttak, és hogy azok az állítólagos fényképek, amelyeket róluk bemutattak, mind hamisítványoknak bizonyultak. Ugyanez áll a texasi dinoszauruszágak állítólagos emberi lábnyomaira. Ha bármiféle kategorikus kijelentést teszek arról, hogy tündérek nem léteznek, akkor ez a kijelentés védtelen azzal a lehetőséggel szemben, hogy egy nap egy fátýolszárnyú kis emberkével találkozom a kertem alján. A szerzett tulajdonságok öröklődésének elméletével hasonló a helyzet. E hatás bizonyítására tett szinte minden kísérlet egyszerűen kudarcot vallott. Azok közül, amelyek látszólag sikerrel jártak, némelyikről kiderült, hogy hamisítvány; példa erre az a hírhedt eset, amikor tust fecskendeztek a bábavarangy bőre alá (ezt Arthur Koestler is idézi a könyvében). A többi nem sikerült más kutatóknak megismételni. Mindazonáltal éppúgy, ahogy előfordulhat még, hogy valaki egy nap tündérrel találkozik a kertje végében, amikor éppen józan és fényképezőgép is van nála, ugyanígy az is előfordulhat, hogy bebizonyítják a szerzett tulajdonságok örökölhetőségét.

Ennél azonban egy kicsivel többet lehet mondani. Bizonyos dolgok, amelyeket megbízhatóan sohasem láttak, mégis hihetők annyiban, hogy nem teszik kétségesse mindazt, amit tudunk. Még nem láttam elfogadható bizonyítékot amellet az elmélet mellett, hogy plezioszaurusz él ma a Loch Ness-i tóban, de világnézetem nem inogna meg, ha találánánk egyet. Egyszerűen csak meg lennék lepve (és fölvidítana), mivel nem ismerünk plezioszaurusz leleteket az elmúlt 60 millió évből, márpedig ez elég hosszú időnek tűnik egy kis fönnmaradt populáció túléléséhez. Ám nagy, tudományos elveket ez egyáltalán nem veszélyeztetne. Ez egyszerűen ténykérdés. A másik oldalról a tudomány rengeteg tudást halmozott fel arról, hogy milyen ütemre jár a világegyetem, s ez a tudás nagyon jól működik jelenségek óriási köre esetében, bizonyos föltevések pedig összeegyeztethetetlenek vagy legalábbis nagyon nehezen kibékíthetőek volnának ezzel a felfogással. Ez áll például arra az állításra, amit néha homályos bibliai megjegyzésekre alapoznak, hogy a világegyetemet körülbelül hatezer évvel ezelőtt teremtték. Nem egyszerűen arról van szó, hogy ez az elmélet nincs hitelesítve. Összeegyeztethetetlen nem csupán az ortodox bibliamagyarázattal és geológiával, hanem a radioaktivitás fizikai elméletével és a kozmológiával is (a hatezer fényévnél távolabbi égitestek nem lennének láthatók, hogyha semmi hatezer évnél idősebb dolog nem létezne; a Tejút nem volna észlelhető, s nem volna észlelhető az a 100 millió többi galaxis sem, amelyeknek létét a modern kozmológia elismeri).

A tudománytörténetben előfordult, hogy az egész ortodox tudományt

jogosan forgatták fel egyetlen kellemetlen tény miatt. Önteltség volna azt állítani, hogy ilyesmi nem fordulhat elő többé. De természetesen és joggal követelünk magasabb szintű hitelesítést, mielőtt elfogadunk egy tényt, amely egy nagy és sikeres tudományos építményt feje tetejére állítana, magasabb szintű hitelesítést, mint egy olyan tény elfogadásakor, amely ha meglepő is, jól beilleszthető a meglevő tudomány kereteibe. A Loch Ness-i szörny esetében saját szememnek hinnék. Ha látnék egy embert, aki lebeg, akkor mielőtt az egész fizikát elvetném, arra gyanakodnék, hogy hallucinációk vagy bűvészmutatvány áldozata vagyok. Folytonos az átmenet az olyan elméletektől, amelyek valószínűleg nem igazak, de könnyen elképzelhető, hogy mégiscsak azok, az olyan elméletekig, amelyek csak azon az áron lehetnek igazak, hogy fölforgatjuk a sikeres ortodox tudomány nagy építményét.

Hol áll a lamarckizmus e kontinuum mentén? Rendszerint úgy mutatják be, hogy jócskán fent a kontinuum „nem igaz, de könnyen lehetne” végén találjuk. Szeretném bemutatni azokat az érveimet, amelyek azt tanúsítják, hogy jóllehet nem esik ugyanabba az osztályba, mint a lebegés egy ima ereje által, a lamarckizmus, konkrétan pedig a szerzett tulajdonságok öröklése közelebb esik a kontinuum „lebegés” végéhez, mint „Loch Ness-i szörny” végéhez. A szerzett tulajdonságok öröklődése nem azok közé a dolgok közé tartozik, amelyek könnyen igazak is lehetnének, noha valószínűleg nem azok. Ki fogom fejteni, hogy csak akkor lehetne igaz, ha az egyik legdédeltettebb és legsikeresebb embriológiai elvünket felforgatnánk. A lamarckizmust tehát nagyobb kétkedéssel kell fogadnunk, mint ami a Loch Ness-i szörny jelenségeknek kijár. Mi az a széles körben elfogadott és sikeres embriológiai elv, amelyet föl kellene forgatnunk ahhoz, hogy a lamarckizmust igaznak tarthassuk? Ez egy kis magyarázatot igényel. A magyarázat némiképp kitérőnek látszik, de lényeges volta végül is világos lesz. És ne felejtjük el, a lamarckizmus, ha igaz is *volna*, akkor sem volna képes megmagyarázni az alkalmazkodó komplexitás kialakulását.

Témánk tehát az embriológia. Két különböző felfogás uralkodik arról, hogy egyetlen sejtből miként lesz felnőtt teremtmény, s e két felfogás között hagyományosan mély szakadék tátong. Ezek hivatalos elnevezései a preformacionizmus és az epigenezis, mai alakjukban én azonban inkább tervrajzelméletnek és receptelméletnek fogom őket nevezni. A korai preformacionisták úgy vélték, hogy a felnőtt test már *előre kialakult* abban a sejtben, amelyből majd kifejlődik. Egyikük úgy képzelte el, hogy mikroszkópján láthatna is egy miniatűr embert – egy homunculust – összegömbölyödve egy spermium (nem petesejt!) belsejében. Az embrionális fejlődés a számára egyszerűen növekedési folyamat volt. A felnőtt test minden morzsája már előre ott volt megformálva. Feltehetőleg minden hímnemű homunculusnak megvolt a maga miniatűr spermiumja, amelyben a saját gyerekei voltak föltekeredve, azokban pedig az unokái... Eltekintve a végtelen regresszió problémájától, a mai preformacionisták figyelmen kívül hagyják azt a tényt, ami a 17. szá-

zadban kevésbé volt nyilvánvaló, mint ma, hogy a gyerekek anyjuktól is örökölnék tulajdonságokat, ugyanúgy, mint az apjuktól. A méltányosság kedvéért hozzá kell tennünk, hogy voltak ovistáknak nevezett más preformacionisták is, mégpedig jóval nagyobb számban, mint az animalkulisták, akik úgy vélték, hogy a felnőtt a petesejtben van jelen preformáltan, és nem a spermiumban. Am az ovizmussal ugyanaz a két problémánk van, mint az animalkulizmussal.

A modern preformacionizmus nem szenved e két probléma egyikétől sem, mégis hibás. A modern preformacionizmus – a tervrajzelmélet – azt állítja, hogy a megtermékenyített petesejtben levő DNS egyenértékű a felnőtt test tervrajzával. A tervrajz a valóságos dolog kisléptékű miniatűrja. A valóságos dolog – ház, autó vagy bármi egyéb – háromdimenziós tárgy, a tervrajz viszont kétdimenziós. Egy háromdimenziós tárgyat, például épületet, reprezentálhatunk egy sor többdimenziós metszet segítségével: minden emelet alaprajzával, különböző homlokzati rajzokkal stb. A dimenzióknak ez a redukálása kényelem kérdése. Az építészek adhatnának a kőműveseknek háromdimenziós gyufaszál modellt is, de papírra rajzolt kétdimenziós modelleket – tervrajzokat – könnyebb magukkal hurcolni egy irattartóban, könnyebb javítani és könnyebb belőlük dolgozni.

Tovább kell a tervrajzot redukálni egy dimenzióra, ha számítógépben akarjuk tárolni vagy például telefonvonalon akarjuk továbbítani az ország másik részébe. Ezt könnyen megtehetjük az egyes kétdimenziós tervrajzok egydimenziós pásztázása segítségével. A televíziós képeket ilyen módon kódolják az átvitel céljából. A dimenziók sűrítése lényegében triviális kódolási eszköz. A lényeg az, hogy még mindig egy az egyhez megfelelés van a tervrajz és az épület között. A tervrajz minden egyes darabja megfelel az épület egy darabjának. Bizonyos értelemben a tervrajz miniatürizált „preformált” épület, noha a miniatürre kevesebb dimenzióra lehet átkódolni, mint amennyivel az épület rendelkezik.

Természetesen azért említjük a tervrajzok egy dimenzióra redukálását, mert a DNS egydimenziós kód. Ugyanúgy, ahogy elméletileg át lehet vinni egy épület kicsinyített modelljét egy telefonvonalon – a tervrajzok digitalizált halmaza segítségével –, ugyanúgy lehetséges elméletileg átvinni egy kicsinyített testet az egydimenziós digitális DNS-kód segítségével. Nem ez történik, de ha ez történné, akkor mondhatnánk, hogy a modern molekuláris biológia igazolta a preformacionizmus réges-régi elméletét. Most vegyük szemügyre az embriológia másik nagy elméletét, az epigenezist, a recept-vagy „szakácskönyv”-elméletet.

A recept a szakácskönyvben semmiképpen sem tervrajza annak a tortának, amely végül is kikerül a sütőből. Nem azért, mert a recept egydimenziós szöfűzer, a torta pedig háromdimenziós tárgy. Mint láttuk, egy pásztázó eljárással egy mérhető modellt tökéletesen át lehet alakítani egydimenziós kóddá. A recept azonban nem mérhető modell, nem egy kész torta leírása, semmiképpen sem pontról pontra reprezentáció. Egy sor *utasítás*, amelyet

ha végrehajtunk a megfelelő sorrendben, akkor tortát kapunk. A torta valódi egydimenziósan kódolt tervrajza egy sor pásztázásból állna, mint hogyha egy nyársat ismételt és rendezett sorrendben átszurkálnánk a tortán. Milliméteres közönként a nyárs közvetlen környezetét kód formájában rögzítenénk; például ebből az adatsorból visszanyerhetők volnának minden mazsola és morzsa pontos koordinátái. Szigorú egy az egyhez megfelelés volna a torta minden egyes morzsája és a tervrajz megfelelő bitje között. Nyilvánvaló, ez még csak nem is emlékeztet a valódi receptre. Nincs egy az egyhez leképezés a torta „morzsái” és a recept szavai vagy betűi között. Ha a recept szavai bármire is leképeződnek, akkor azok nem a kész torta egyes morzsái, hanem a torta előállításának eljárásában az egyes lépések.

Ma még nem értünk mindent abból, ahogyan az állatok kifejlődnek a megtermékenyített petesejtekből, sőt ennek nagy részét nem értjük. Mégis nagyon határozott jelek mutatnak arra, hogy a gének sokkal inkább recept jellegűek, semmint tervrajz jellegűek. Csakugyan, a recept analógia meglehetősen jó, a tervrajz analógia viszont, jóllehet gyakran szinte megfontolás nélkül alkalmazták az alapfokú tankönyvekben, különösen az újabbakban, szinte minden részletében helytelen. Az embrionális fejlődés folyamat. Események rendezett sorozata, mint a tortakészítés eljárása, azzal a különbséggel, hogy sok milliószor több lépésből áll, és különböző lépések egyidejűleg zajlanak az „étel” számos különböző részében. A lépések legtöbbje sejtosztódással jár együtt, s ez óriási számú sejtet eredményez, amelyek némelyike elpusztul, mások pedig szervekké, szövetekké és egyéb soksejtű szerkezetekké állnak össze. Amint egy korábbi fejezetben már láttuk, az, hogy egy *konkrét* sejt miként viselkedik, nem a benne levő génektől függ – hiszen a test összes sejtjének azonos a génkészlete –, hanem attól, hogy az illető sejtben a gének melyik alhalmaza lép működésbe. A fejlődő test bármely helyén, a fejlődés bármely pillanatában a géneknek csak egy kisebbsége van működésben. Az embrió más-más részeiben a fejlődés más-más időpontjában a gének más-más halmaza aktív. Az illető sejt kémiai feltételeitől függ, hogy pontosan mely gének lépnek működésbe az adott sejtben és az adott időpontban. Ez pedig az embrió adott részének múltbeli feltételeitől függ.

Sőt, hogy a génnek mi a hatása, amikor be van kapcsolva, az attól is függ, hogy az embrióban azon a helyén mi van jelen, amire hatást gyakorolhat. A gerinchúr kialakulásánál a fejlődés harmadik hetében működő gének tökéletesen más hatással vannak, mint ugyanezek a gének a fejlődés hatodik hetében a váll sejtjeiben. Tehát a gén hatása, ha van egyáltalán, akkor *nem* magának a génnek valamilyen egyszeri tulajdonsága, hanem a gén tulajdonsága kölcsönhatásban az embrió helyi környezetének közelmúltjával. Ezért értelmetlen az az elgondolás, hogy a gének a testnek afféle tervrajzai volnának. Talán emlékszünk rá, ugyanaz állt a számítógépes biomorfokra is.

Nincs tehát egyszerű egy az egyhez leképezés a gének és a test részei között, ugyanúgy, ahogy nincs leképezés a recept szavai és a torta morzsái között.

A géneket együttesen egy eljárás végrehajtására vonatkozó utasításokként foghatjuk föl, éppúgy, ahogy egy recept szavait együttesen egy eljárás végrehajtására vonatkozó utasításoknak tekinthetjük. Az olvasó ebben az esetben megkérdezheti, hogy lehet az, hogy a genetikusok mégis megélnék. Hogyan lehet akkor beszélni, hát még kutatni, a kék szem génjéről vagy a színvakság génjéről? Már az a tény, hogy a genetikusok képesek tanulmányozni ilyen egy génre szorító hatásokat, nem azt mutatja-e, hogy mégis csak van valamilyen egy gén–egy testelem leképzés? Vajon nem cáfol-e ez meg mindent, amit mondtam arról, hogy a génkészlet a fejlődő test receptje? Nos, a dolog nem így áll, és fontos megértenünk, miért.

Talán a legjobb lesz, ha visszamegyünk a receptanalógiához. Egyetértünk, hogy nem oszthatjuk föl a tortát morzsáira, és nem mondhatjuk, hogy „ez a morzsa megfelel a recept első szavának, ez a morzsa megfelel a recept második szavának” stb. Ebben az értelemben egyetértünk, hogy az egész recept képeződik le az egész tortára. De tegyük fel, hogy megváltoztatunk egy szót a receptben: például kitöröljük a sütőpor szót, és kicseréljük élesztőre. Kisütünk száz tortát a recept új változata szerint, százat pedig a régi szerint. Kulcsfontosságú különbség van a két százas tortaadag között, s ez a *különbség* a receptek egyszavas különbségének tulajdonítható. Noha nincs egy az egyhez leképezés a szavak és a tortamorzsák között, *van* egy az egyhez leképezés a *szókülönbség* és az egész torták *különbsége* között. A sütőpor nem felel meg a torta egyetlen konkrét részének sem: hatása a kelésre van, s ennél fogva az egész torta végső alakjára. Ha a sütőport kitöröljük és liszttel helyettesítjük, akkor a torta nem kel meg. Ha élesztővel helyettesítjük, akkor megkel, de inkább kenyérszerű íze lesz. Megbízható, azonosítható különbség lesz a recept eredeti, illetve más változatai szerint sült torták között annak ellenére, hogy a tortának egyetlen konkrét morzsája sem felel meg a kérdéses szavaknak. Ez jó analógiája annak, hogy mi történik a génnel a mutációkor.

Még jobb analógia lenne, mivel a gének mennyiségi hatásokat fejtenek ki, s a mutációk megváltoztatják ezeknek a hatásoknak a nagyságát, ha a „180 fokot” változtatnánk „230 fokra”. A „receptmutáns” magasabb hőfokú változata szerint sült torták másmilyenek lesznek, nem csupán egy részükben, hanem egész állagukban az eredeti alacsonyabb hőmérsékletű változat szerint sült tortákhoz képest. Ám az analógia még mindig túlságosan egyszerű. A kisbaba „kisütésének” utánzásához nem egyetlen folyamatot kell elképzelnünk egyetlen sütőben, hanem futószalagok szövedékét, amely a fogás különböző részeit 10 millió különböző sütőn viszi keresztül, részben egymás után, részben párhuzamosan, és minden egyes sütő 10 ezer alapvető hozzávalóból állítja elő az ízek különböző kombinációit. A sütési analógia lényege tehát, hogy a gének nem tervrajzok, hanem receptek, az analógia összetett változatában még erőteljesebben kidomborodik, mint az egyszerűben.

A tervrajz alapján építkezésnek – szemben a recepttel – megvan az a

tulajdonsága, hogy az eljárás *visszafordítható*. Ha van egy házad, könnyű a tervrajzát rekonstruálni. Csak meg kell mérni a ház összes dimenzióját, azután le kell kicsinyíteni. Nyilvánvaló, hogy ha a ház valamilyen „tulajdonságra” tett szert – például ha egy belső válaszfalat lebontottunk, hogy szabadon berendezhető teret kapjunk –, akkor a visszafelé készült tervrajz híven rögzíteni fogja ezt a változtatást. Ugyanez volna a helyzet a génekkel is, hogy ha azok a felnőtt test leírásai volnának. Ha a gének tervrajzok volnának, akkor könnyen el tudnánk képzelni, hogy a test által az élet folyamán szerzett tulajdonságot híven vissza lehetne írni a genetikai kódba, s ennél fogva tovább lehetne adni a következő nemzedéknek. A kovács fia ekkor valóban örökölné apja edzett izomzatát. Ez azért nem lehetséges, mert a gén nem tervrajz, hanem recept. Semmivel sem elképzelhetőbb a szerzett tulajdonságok öröklődése, mint a következő eset. Egy tortából kivágunk egy szeletet. A változtatás leírását most visszatápláljuk a receptbe, amely úgy változik meg, hogy az új recept szerint sültöt következő torta a hiányzó szelettel fog kikerülni a sütőből.

A lamarckisták hagyományosan kedvelik a bőrkeményedéseket, vegyük tehát ezt a példát. Hipotetikus banktisztviselőnknek jólápolat kezei vannak, csupán a jobb keze középső ujján van bőrkeményedés. Ha leszármazottainak nemzedékei mindannyian sokat írnak, akkor a lamarckista azt várja, hogy az illető régióban a bőr kialakulását irányító gének módosulni fognak oly módon, hogy a kisbabák már a megfelelő ujj bőrkeményedésével jönnek világra. Ha a gének tervrajzok volnának, akkor ez könnyű volna. Akkor volna egy génünk a bőr minden egyes négyzetmillimétere (vagy megfelelő kis egysége) számára. Ekkor „átpásztázódna” a felnőtt banktisztviselő bőrének egész felülete, minden négyzetmilliméternyi keményedés gondosan rögzítődne és vissza lenne táplálva az adott négyzetmilliméter „génjeibe”, közelebből spermiumainak megfelelő génjeibe.

Ám a gének nem tervrajzok. Semmilyen értelemben sem beszélhetünk az egyes négyzetmilliméterek „génjeiről”. Semmilyen értelemben sem mondhatjuk, hogy a felnőtt testet át lehetne pásztázni, és a leírását vissza lehetne táplálni génjeibe. Egy bőrkeményedés koordinátái nem kereshetők ki a genetikai aktából, és nem változtathatók meg a megfelelő gének. Az embrionális fejlődés folyamat, amelyben az összes működő gén részt vesz; folyamat, amely ha megfelelő módon halad előre, akkor felnőtt test kialakulásához vezet; ám olyan folyamat, amely eleve, természeténél fogva visszafordíthatatlan. Nem csupán arról van szó, hogy a szerzett tulajdonságok nem öröklődnek: *nem öröklődhetnek* semmiféle életformában, amelynek embrionális fejlődése epigenetikus, és nem preformacionista. Az a biológus, aki a lamarckizmus híve – bár lehet, hogy ezt megdöbbenéssel hallja – atomista, determinista, redukcionista embriológiát vall burkoltan. Nem akartam terhelni az olvasót a nagyképzű szakszavaknak eme kis füzérével, csupán nem tudtam visszaszorítani a rosszmájúságomat, ugyanis azok a biológusok, akik a legközelebb kerülnek ahhoz, hogy szimpatizáljanak a lamarckizmus-

sal, különös előszeretettel használják ezeket a tolvajnyelvi kifejezéseket mások kritizálására.

Ezzel nem azt állítom, hogy a világegyetemben nem lehet az életnek olyan tőlünk idegen rendszere, amelyben az embriológia *valóban* preformacionista. Olyan életforma, amelynek csakugyan „tervrajzgenetikája” van, s amely ezért valóban örökölheti a szerzett tulajdonságokat. Eddig csupán azt mutattam ki, hogy a lamarckizmus összeegyeztethetetlen az általunk ismert embriológiával. Amit ennek a fejezetnek az elején állítottam, az ennél erősebb volt: még ha örökölhettek volna is a szerzett tulajdonságok, a Lamarck-féle elmélet akkor is képtelen volna megmagyarázni az alkalmazkodó evolúciót. Ez az állítás olyan erős, hogy szándékom szerint az összes életformára érvényes, bárhol a világegyetemben. Két gondolatmeneten alapul, amelyek közül az egyik a használat és nem használat elve körüli nehézségekkel kapcsolatos, a másik pedig a szerzett tulajdonságok öröklésének további problémáival. Az utóbbival kezdem.

A szerzett tulajdonságokkal alapjában véve a következő a baj. Az rendszerben van, hogy örököljük a szerzett tulajdonságokat, ám nem minden szerzett tulajdonság tökéletesedés. Sőt, túlnyomó többségük sérülés. Nyilvánvaló, hogy az evolúció nem az alkalmazkodó tökéletesedés általános irányát követné, ha a szerzett tulajdonságokat megkülönböztetés nélkül örökölnénk: a törött lábat és a himlőhelyet ugyanúgy továbbadnánk a nemzedékeknek, mint a bőrkeményedéses talpat és a napbarnította bőrt. A legtöbb tulajdonság, amelyre egy korosodó gép szert tesz, az idő pusztító hatásainak felhalmozódásából ered: elkopik. Ha ezeket valamilyen pásztázó eljárás összegyűjtené és visszatáplálná a következő nemzedék számára szolgáló tervrajzba, akkor az egymást követő nemzedékek egyre jobban előregednének. Az egyes új nemzedékek ahelyett, hogy frissen, új tervrajzzal vágnának neki az életnek, halmozottan terheltek volnának az előző nemzedékek pusztulásával és sérüléseivel.

Ez a nehézség nem szükségképpen leküzdhetetlen. Tagadhatatlan, hogy bizonyos szerzett tulajdonságok javulást hoznak, s elméletileg elképzelhető, hogy az öröklés mechanizmusa valami módon különbséget tesz a tökéletesedés és a sérülés között. Ám ennek a diszkriminációnak a működésén tűnődve fel kell tennünk a kérdést, hogy a szerzett tulajdonságok néha miért jelentenek javulást. Például a sokat használt bőrfelületek, mint a meztelláb futó talpa, miért válnak vastagabbakká és durvábbakká? Első pillantásra valószínűbbnek tűnne, hogy a bőr elvékonyodik: a legtöbb gépen a használatnak kitett részek elvékonyodnak, aminek az a nyilvánvaló oka, hogy a kopás elvesz részecskéket, s nem hozzáad.

A darwinista természetesen kész a válasszal. A kopásnak kitett bőr azért válik vastagabbá, mert az ősoknél a természetes szelekció azoknak az egyedeknek kedvezett, amelyek ilyen előnyös módon reagáltak a kopásra. Hasonlóképpen a természetes szelekció a felmenő nemzedékek azon tagjait részesítette előnyben, akik véletlenül leburnulással reagáltak a napfényre.

A darwinista szerint annak, hogy a szerzett tulajdonságoknak akárcsak a kisebbsége is tökéletesedés, az az egyedüli oka, hogy a múltbeli darwini szelekció alapozza meg. Más szóval a lamarckista elmélet az evolúcióban az alkalmazkodó tökéletesedést csak mintegy a darwini elmélet hátán lovagolva képes megmagyarázni. Ha a darwini szelekció ott van a háttérben, biztosítandó, hogy némely szerzett tulajdonság előnyös legyen, valamint, hogy mechanizmust nyújtson az előnyös tulajdonságoknak a hátrányosaktól való megkülönböztetéséhez, a szerzett tulajdonságok öröklődése talán vezethet valamilyen evolúciós tökéletesedéshez. Ám a *tökéletesedés* mint olyan kizárólag a darwini megalapozásnak köszönhető. Vissza kellett tehát térnünk a darwinizmushoz, hogy az evolúció alkalmazkodó vonását megmagyarázzuk.

Ugyanez igaz a tökéletesedésnek jóval fontosabb osztályára, arra, amelyet a tanulás címszó alatt foglalhatunk össze. Élete során az állat egyre jártasabb lesz létfenntartásában. Az állat megtanulja, hogy mi a jó számára és mi nem. Agya emlékek nagy könyvtárát tárolja a világról, s arról, hogy mely cselekedetek járnak többnyire kíváncsú következményekkel, s melyek nemkíváncsú következményekkel. Az állat viselkedésének nagy része ezért a szerzett tulajdonságok címszó alá sorolható, s e szerzési típus zöme – a „tanulás” – csakugyan rászolgál a tökéletesedés jelzőre. Ha a szülők valamiképpen át tudnák írni élettapasztalatukat génjeikbe, s így utódaik a hozományul kapott élmények egész könyvtárával születnének meg, akkor ezek az utódok jelentős lépéslönnnyel kezdenék az életüket. Az evolúciós haladás csakugyan felgyorsulhatna azáltal, hogy a tanult készségek és tapasztalatok automatikusan beépülnének a génekbe.

Ez azonban előfeltételezi, hogy a tanulásnak nevezett magatartásváltozások csakugyan tökéletesedések. Miért *kellene* szükségképpen tökéletesedéseknek lenniük? Az állatok tényleg megtanulják, hogy mi jó nekik, és nem azt tanulják meg, hogy mi rossz, de miért? Az állatok kerülnek az olyan cselekedeteket, amelyek a múltban fájdalmat okoztak. De a fájdalom nem anyagi. A fájdalom csupán az, hogy az agy akként kezeli. Szerencsés tény, hogy azok az esetek, amelyeket fájdalomként kezelünk, például a testfelszín erőszakos megszakítása, egybeesnek azokkal az esetekkel, amelyek jobbára az állat életbenmaradását veszélyeztetik. Ám könnyen el tudnánk képzelni egy olyan állatfajt, amely *élvezi* a sérülést, és az életbenmaradását veszélyeztető egyéb alkalmakat; olyan állatfajt, amelynek agya a sérülésben leli örömét, és azokat az ingereket érzik fájdalmasnak, például a táplálék ízét, amelyek az életbenmaradása szempontjából ígéretesek. Hogy a világban nem látunk ilyen mazochista állatokat, annak az a darwini oka, hogy a mazochista ősök érthető okokból nem maradnának életben, hogy utódaikra örökítsék mazochizmusukat. Mesterséges szelekcióval, kipárnázott ketrecekben, és olyan kényeztető feltételek között, ahol az életbenmaradásról állatorvosok és gondozók csapatai gondoskodnak, valószínűleg ki tudnánk tenyészteni örökletesen mazochista fajtát. A természetben azonban az ilyen

mazochisták nem maradnának életben, s ez az alapvető oka, hogy a tanuláshoz nevezett változások jobbra a tökéletesedés irányába hatnak és nem megfordítva. Ismét arra a következtetésre jutottunk, hogy feltétlenül szükség van egy darwini állványzatra ahhoz, hogy a szerzett tulajdonságok előnyösek legyenek.

Térjünk most rá a használat és nem használat elvére. Ez az elv a szerzett tökéletesedések néhány vonatkozásában úgy tűnik meglehetősen jól működik. Olyan általános szabály ez, amely nem függ konkrét részletektől. A szabály egyszerűen azt mondja ki: „A testnek bármely része, amelyet gyakran használunk, megnagyobbodik; bármely része, amelyet nem használunk, kisebbé válik, vagy akár teljesen el is sorvad.” Mire azt várhatjuk, hogy a hasznos (s ennél fogva feltehetőleg használt) testrészeknek általában javukra válik a nagyobbodás, míg a haszontalan (s ennél fogva feltehetőleg nem használt) részek akár ott se lennének. A szabálynak úgy látszik, valóban vannak általános érdemei. Mégis van egy nagy probléma a használat és a nem használat elvével. Ez pedig az, hogy még ha egyéb ellenvetésünk nem is volna vele szemben, túlságosan is durva eszköz azoknak a rendkívül finom alkalmazkodásoknak a kialakítására, amelyekkel az állatoknál és a növényeknél találkozunk.

A szem már korábban is hasznos példának bizonyult, miért ne forduljunk ehhez most is? Gondoljunk arra a sok bonyolultan együttműködő alkatrésze: az átlátszó lencsékre, a színcorrekcióra és a szferikus torzítás korrekciójára, az izmokra, amelyek nyomban fókuszálni tudják a lencsét bármely célpontra néhány centiméternyi távolságtól a végtelenig; a szivárványhártya fényrekeszére vagy leállító mechanizmusára, amely folyamatosan finomra hangolja a szem nyílását, egy beépített fénymérővel és nagy sebességű célszámítógéppel ellátott fényképezőgép fényrekeszéhez hasonlóan; a retinára a 125 millió színkódoló fotocellájával; a vérerek finom hálózata, amely üzemanyaggal látja el a gép minden részét; s az idegek még finomabb hálózata – a huzalok és az elektronikus csipek megfelelőjére. Tartsuk szem előtt mindezt a finoman cizellált bonyolultságot, és tegyük fel magunkban a kérdést, fel lehetett-e volna építeni mindezt a használat és nem használat elvének segítségével. A válasz szerintem nyilvánvalóan *nem*.

A lencse átlátszó és korrigálja a szferikus és a kromatikus torzulást. Létrejöhett-e ez vajon a pusztán *használat* révén? Kitisztítható-e egy lencse a rajta átáramló fotonok tömegével? Jobb lencsévé válik vajon azért, mert használatban van? Mert fény áramlik át rajta? Természetesen nem. Miért is lenne így? A retina sejtjei vajon három színérzékeny osztályra csoportosulnának pusztán azért, mert különböző színű fény bombázza őket? Miért kellene így tenniük? Ha már a fókuszáló izmok léteznek, való igaz, edzésük nagyobbá és erősebbé teszi őket; de ettől még a képek fókusza nem lesz élesebb. Az igazság az, hogy a használat és nem használat elve a legdurvább és legérdektelenebb alkalmazkodások formálásán kívül másra képtelen.

A darwini szelekciónak viszont nem okoz nehézséget egyetlen apró részlet

megmagyarázása sem. A jó látás, amely a legapróbb részletekig pontos és hű, élet és halál kérdése lehet az állat számára. A megfelelően fókuszált és a torzítással szemben korrigált lencsének lehet köszönhető, hogy egy gyorsan repülő madár, például fecske a legyet kapja el és nem csapódik a sziklának. A jól modulált pupilla, amely gyorsan összeszűkül, amikor a nap előbújik, egyedül eldöntheti, hogy időben meglátja-e a ragadozót az állat ahhoz, hogy elmenekülhessen, vagy egy végzetes pillanatig káprázat bénítja. A szem hatékonyságában bármiféle javulás, nem számít mennyire közvetett, s hogy mennyire mélyen van elrejtve a belső szövetekben, hozzájárulhat az állat életbenmaradásához és szaporodásának sikeréhez, s ennél fogva a javulást előidéző gének elterjedéséhez. A darwini szelekció így tehát meg tudja magyarázni a tökéletesedés evolúcióját. Darwin elmélete az életbenmaradáshoz alkalmas sikeres készülék kifejlődését magának a sikernek közvetlen következményeként magyarázza meg. A magyarázat és a magyarázandó összepárosítása közvetlen és részletekbe menő.

Lamarck elmélete viszont laza és durva párosításon nyugszik: azon a szabályon, miszerint amit sokat használunk jobb lesz, ha nagyobbodik. Ez annyi, mint egy szerv mérete és hatékonysága közti korrelációra építeni. Ha van is ilyen korreláció, bizonyosan nagyon gyenge. Darwin elmélete lényegében egy szerv *hatékonysága* és hatékonysága közötti korreláción nyugszik: szükségképpen tökéletes korreláción! A Lamarck-féle elméletnek ez a gyengéje: nem függ az ezen a bolygón látható élet konkrét formáinak részletes tényeitől. Olyan általános gyengesége ez, amely érvényes az alkalmazkodó komplexitás bármely típusára, és úgy gondolom, érvényesnek kell lennie az életre a világegyetem bármely pontján, legyen az részleteiben bármilyen idegen és különös élet is.

A lamarckizmust illető cáfolatunk tehát megsemmisítő. Először is a kulcsfontosságú feltevése, nevezetesen a szerzett tulajdonságok öröklése, minden tanulmányozott életformában hamis. Másodszor, nem csupán hamis, hanem hamisnak *kell* lennie minden olyan életformában, amely az embriológia epigenetikus (recept) és nem preformacionista (tervrajz) típusán nyugszik, s ez felöleli az összes tanulmányozott életformát. Harmadszor, még ha a Lamarck-féle elmélet feltevései igazak volnának is, az elmélet két teljesen különálló ok miatt elvben képtelen megmagyarázni a jelentős alkalmazkodó komplexitás kifejlődését, nem csupán ezen a Földön, hanem bárhol a világegyetemben. Nem arról van tehát szó, hogy a lamarckizmus a darwini elmélet riválisa, és történetesen téves. Nem, a lamarckizmus egyáltalán nem riválisa a darwinizmusnak. Még csak nem is komoly *jelölt* arra, hogy megmagyarázza az alkalmazkodó komplexitás evolúcióját. Mint a darwinizmus esetleges riválisa kezdettől fogva kudarcra van ítélve.

Van még néhány más elmélet is, amelyet régebben, sőt néha még ma is, a darwini kiválasztódás alternatíváiként vonultattak föl. Ismét ki fogom mutatni, hogy nem igazán komoly alternatívák. Ki fogom mutatni (ez csakugyan nyilvánvaló), hogy ezek az „alternatívák” – neutralizmus, mutá-

cionizmus stb. – lehetnek is felelősek, meg nem is a megfigyelt evolúciós változások bizonyos hányadáért, de nem lehetnek felelősek az *alkalmazkodó* evolúciós változásért, azaz az életbenmaradás fejlett eszközeinek felépítése irányába mutató változásért, olyan eszközök irányába, mint a szem, a fül, a könyökízület és a visszhangbemérő készülék. Természetesen az evolúciós változás jelentős része nem alkalmazkodó, s ez esetben az alternatív elméletek fontos részei lehetnek az evolúciónak, ám csupán az unalmas részei, s nem azok, amelyek sajátosan jellemzik az életet az élet hiányával szembeállítva. Ez különösen világos az evolúció *neutralista elméletének* esetében. Hosszú története van, de különösen könnyű megragadni mai, molekuláris megjelenésében, amelyet jórészt a nagy japán genetikus, Motoo Kimura dolgozott ki.

Futólag már találkoztunk a neutralista elmélettel. E szerint ugyanazon molekula különböző változatai, például az aminosavsorrendjükben eltérő hemoglobinmolekula-változatok pontosan ugyanolyan jók, mint bármely másik. Ez azt jelenti, hogy a hemoglobin egyik alternatív változatáról a másikra való mutáció *semleges* a természetes szelekció szempontjából. A neutralisták úgy vélik, hogy az evolúciós változások túlnyomó többsége a molekuláris genetika szintjén semleges, a természetes szelekció tekintetében *véletlenszerű*. A genetikusok alternatív iskolája, akiket szelekcionistaoknak neveznek, úgy vélik, hogy a természetes szelekció a részletek szintjén is ható erő a molekulaláncok minden pontján.

Fontos különbséget tennünk két kérdés között. Az első az, az ebben a fejezetben lényeges kérdés, hogy a neutralizmus alternatívája-e a természetes szelekciónak az alkalmazkodó evolúció magyarázatában. A második, s ettől teljesen különböző kérdés az, hogy vajon az evolúciós változások többsége adaptív-e. Feltéve, hogy arról az evolúciós változásról beszélünk, amikor az egyik molekulaforma a másikba változik, mekkora a valószínűsége annak, hogy ezt a változást a természetes szelekció hozta létre, s mekkora annak, hogy semleges változás, amely véletlenszerű mozgás folytán jött létre? A második kérdés körül váltakozó szerencsével folyt a harc a molekuláris genetikusok között, először az egyik fél volt fölényben, majd a másik. Ám ha történetesen érdeklődésünk az alkalmazkodásra összpontosul – az első kérdésre –, akkor az csupán vihar egy pohár vízben. Ami tehát minket illet, a semleges mutáció akár ne is létezne, mert sem mi, sem a természetes szelekció nem látja. A semleges mutáció egyáltalán nem is mutáció, amikor lábakról és karokról, szárnyakról és szemekről vagy viselkedésről gondolkodunk! Hogy ismét a recept analógiájához folyamodjunk, az étel ugyanolyan ízű lesz még akkor is, hogyha a recept néhány szava „mutáció” által eltérő szedési típusba kerül. Ami minket illet, akiket a végső étel érdekel, ez még mindig ugyanaz a recept, akár így van nyomtatva, *akár így*, akár *így*. A molekuláris genetikusok olyanok, mint a kényes nyomdászok. Fontos számukra a szavak tényleges formája, ahogyan a receptek le vannak írva. A természetes szelekciót ez nem érdekli, s minket sem kell, hogy érdekeljen,

amikor az alkalmazkodás evolúciójáról beszélünk. Amikor az evolúció más vonatkozásai foglalkoztatnak, például az evolúció sebessége a különböző leszármazási vonalakban, akkor a semleges mutációknak kimagasló jelentőségük van.

Még a legtüzesebb neutralista is készségesen egyetért abban, hogy a természetes szelekció felelős minden alkalmazkodásért. Ő csupán azt mondja, hogy a legtöbb evolúciós változás nem alkalmazkodás. Könnyen lehet, hogy igaza van, noha a genetikusok egyik iskolája ezzel sem ért egyet. A pálya széléről jómagam azt remélem, hogy a neutralisták fognak győzni, mert ez sokkal könnyebbé tenné az evolúciós viszonyok és az evolúció sebességének kiszámítását. Mindkét oldalon mindenki egyetért abban, hogy a semleges evolúció nem vezethet alkalmazkodó tökéletesedéshez, azon egyszerű oknál fogva, hogy a semleges evolúció definíció szerint véletlenszerű; az alkalmazkodó tökéletesedés pedig definíció szerint nem véletlenszerű. Nem sikerült tehát alternatívát találnunk a darwini szelekció számára, amikor az élet azon sajátosságának magyarázatáról van szó, amely megkülönbözteti az élet hiányától, s ez az alkalmazkodó komplexitás.

Elérkeztünk a darwinizmus egy másik történelmi riválisához, a mutacionizmus elméletéhez. Ma már nehéz megértenünk, de a század első éveiben, amikor a mutáció jelenségét először elemezték, nem a Darwin-féle elmélet szükséges részének, hanem az evolúció elmélete *alternatívájának* tekintették! Volt akkor egy mutacionistának nevezett iskolája a genetikusoknak, amelybe olyan híres kutatók tartoztak, mint Hugo de Vries és William Bateson, az öröklés Mendel-féle elvének korai újrafelfedezői, Wilhelm Johannsen, a gén szó kitalálója és Thomas Hunt Morgan, az öröklés kromoszómaelméletének atyja. De Vriesre különösen nagy hatással volt a változásnak az a mértéke, amit a mutáció előidézhethet, s úgy gondolta, hogy az új fajok mindig egyetlen nagyobb mutáció útján keletkeznek. Ő és Johannsen úgy vélték, hogy a fajon *belüli* variációk zöme nem genetikai. Az összes mutacionista hitt abban, hogy a szelekciónak legjobb esetben kisebb gyomláló szerepe van az evolúcióban. A valóban teremtető erő maga a mutáció. A Mendel-féle genetikát nem a darwinizmus központi platformjának tekintették, ahogy ma gondoljuk, hanem a darwinizmus antitézisének.

A mai elme számára rendkívül nehéz ezt az elgondolást nem csupán merő mulatsággként fölfogni, ám óvakodnunk kell attól, hogy megismételjük magának Batesonnak atyáskodó modorát: „Darwint fölkeressük a tények semmi máshoz nem foghatóan gazdag gyűjteményéért, ám (...) hozzánk többé már nem a filozófiai tekintély szól belőle. Evolúciós sémáját úgy olvassuk, ahogy Lucretiust vagy Lamarckot olvasnánk.” Vagy másutt, „nagy tömegű népességek átalakulása a szelekció által irányított láthatatlanul kicsiny lépésekkel, ahogy ma már legtöbben belátjuk, annyira összeegyeztethetetlen a tényekkel, hogy csak bámulni tudjuk mind a megértés igényét, amit ezen álláspont támogatói mutattak, mind azt a jogászai ügyességet, amellyel akárcsak egy időre is az elfogadhatóság látszatát tudták kelte-

ni". Mindenekelőtt R. A. Fisher volt az, aki visszájára fordította ezt a helyzetet és kimutatta, hogy a Mendel-féle részecskés öröklődés nem a darwinizmus antitézise, hanem éppenséggel lényeges a számára.

A mutáció szükséges az evolúcióhoz, de hogy gondolhatta bárki is, hogy elegendő? Az evolúciós változás sokkal nagyobb mértékben, mint ahogy azt egyedül a véletlen előidézhetné, *tökéletesedést* vetít előre. Egyszerűen megfogalmazhatjuk, hogy mi a baj a mutációval mint egyedüli evolúciós erővel: honnan az ördögből „tudhatná” a mutáció, hogy mi lesz jó az állat számára, s mi nem? Az összes lehetséges változás közül, ami egy létező bonyolult mechanizmust, például egy szervet érhet, a túlnyomó többség ront rajta. A változásoknak csak egy pici kisebbsége javítja. Aki amellet akar érvelni, hogy a mutáció szelekció nélkül az evolúció hajtóereje, meg kell magyaráznia, mitől lennének e mutációk a szervezet számára előnyösek. Milyen rejtélyes, beépített bölcsesség mondja meg a testnek, hogy a javulás irányába történjék a mutációja, és ne a romlás irányába? Az olvasó bizonyára észreveszi, hogy ez valójában ugyanaz a kérdés más lepelben, mint amit a lamarckizmusnak föltettünk. Mondanunk sem kell, a mutacionisták sohasem adtak rá választ. A furcsa az, hogy ez a kérdés úgy tűnik, szinte eszünkbe sem jutott.

Manapság és méltánytalanul ez annál is inkább abszurdnak tűnik számunkra, mivel abban a hitben nőttünk föl, hogy a mutációk „véletlenszerűek”. Ha a mutációk véletlenszerűek, akkor definíció szerint nem tolódhatnak el a tökéletesedés irányába. A mutacionista iskola azonban természetesen nem tekintette a mutációt véletlenszerűnek. Úgy gondolták, hogy a testnek beépített hajlama van bizonyos irányokba változni, és nem más irányokba, de nyitva hagyták azt a kérdést, honnan „tudja” a test, mely változások lesznek jók a jövőben. Míg ezt misztikus értelmetlenségként félre is tehetjük, fontos világosan látnunk, mit értünk pontosan azon, hogy a mutáció véletlenszerű. Véletlenszerűség és véletlenszerűség között van különbség, és sok ember összekeveri a szó különböző jelentéseit. Igazából sok szempontból nem véletlenszerű a mutáció. Csupán azt állítanám határozottan, hogy ezek a vonatkozások *nem* tartalmazznak semmi olyasmit, ami egyenértékű volna annak előre látásával, hogy mi tenné az állat számára jobbá az életet. Márpedig valami ezzel az előrelátással egyenértékű dolog volna szükséges ahhoz, hogy a mutációt szelekció nélkül az evolúció megmagyarázására felhasználjuk. Tanulságos egy kissé alaposabban megvizsgálni, hogy milyen értelemben véletlenszerű, és milyen értelemben nem az a mutáció.

Az első szempont, ahonnan nézve a mutáció nem véletlenszerű, a következő. A mutációkat meghatározott fizikai események okozzák, nem csak úgy spontán módon történnek. Úgynevezett mutagének váltják ki őket (veszélyesek, mivel gyakran indítanak el rákos folyamatot): röntgensugarak, kozmikus sugarak, radioaktív anyagok, különböző vegyianyagok, sőt más mutátor géneknek nevezett gének is. Másodszor, egy fajban nem minden gén

mutál egyenlő valószínűséggel. A kromoszómák minden helyének megvan a maga jellemző *mutációs rátája*. Például annak a gyakorisága, amivel egy mutáció a Huntington-chorea nevű betegség (ez hasonló a vitustánchoz) génjét létrehozza, s amely a középkoruk elején megöli az embereket, körülbelül 1 minden 200 000-ben. Az achondroplasia (az ismert törpeszindróma, jellemző a beagle-re és a daxlikra, amikor a karok és a lábak a testhez képest túlságosan rövidek) gyakorisága ennek tízszerese. Ezeket a gyakoriságokat normális feltételek között mérték. Ha mutagének is jelen vannak, például röntgensugárzás, akkor a normális mutációs gyakoriság felszökik. A kromoszómák bizonyos gyors génkicserélődésű részeit, az ún. forró pontokat nagyon nagy mutációs gyakoriság jellemzi.

Harmadszor, a kromoszómák bármely helyén, akár forró pont, akár nem, a bizonyos irányú mutációk valószínűbbek lehetnek, mint a fordított irányúak. Ebből ered a mutációs nyomás néven ismert jelenség, amelynek lehetnek evolúciós következményei. Ha például a hemoglobinmolekula két formája a szelekció szempontjából semleges is abban az értelemben, hogy mindkettő egyformán jól szállítja az oxigént a vérben, lehetséges, hogy az elsőből a másodikba gyakoribbak a mutációk, mint fordítva, a másodikból az elsőbe. Ebben az esetben a mutációs nyomás abba az irányba hat, hogy a második forma gyakoribbá váljon, mint az első forma. A mutációs nyomást nullának tekintjük egy adott kromoszómahelyre nézve, ha az előremutató mutációs gyakoriságot az adott helyen tökéletesen ellensúlyozza a visszafelé ható mutációs gyakoriság.

Most már látható, hogy nem túl reális az a kérdés, hogy egy mutáció valóban véletlenszerű-e. A válasz attól függ, mit értünk véletlenszerűn. Ha azt értjük „véletlenszerű mutáción”, hogy a mutációt nem befolyásolják a külső események, akkor ezt az állításunkat cáfolják a röntgensugarak. Ha számunkra a véletlenszerű mutációból az következik, hogy minden gén egyenlő valószínűséggel változik, akkor a forró pontok azt mutatják, hogy a mutáció nem véletlenszerű. Ha úgy gondoljuk, hogy a véletlenszerű mutáció maga után vonja, hogy az összes kromoszómahelyen zéró a mutációs nyomás, akkor a mutáció ismét csak nem véletlenszerű. A mutáció csak akkor igazán véletlenszerű, ha a véletlenszerűt úgy definiáljuk: „nem mutat általános tendenciát a testi tökéletesedés irányában”. A valóságos nem véletlenszerűség itt szemügyre vett mindhárom típusa hatástalan abban, hogy az evolúciót az alkalmazkodó tökéletesedés irányába mozdítsa el szemben a többi (funkcionálisan) „véletlenszerű” iránytól. Van a nem véletlenszerűségnek egy negyedik típusa is, amelyre mindez szintén igaz, de egy kissé kevésbé nyilvánvalóan az. Ennél el kell egy kicsit időznünk, mert ma is megzavar még néhány biológust.

Vannak emberek, akik számára a véletlenszerű szónak a következő, nézetem szerint meglehetősen bizarr jelentése van. A darwinizmus két ellenfelétől, P. Saunderstól és M. W. Hotól idézek, akik arról nyilatkoznak, hogy szerintük a darwinizmus miként vélekedik a véletlenszerű mutációról:

„A véletlenszerű változékonyság neodarwinista fogalmának az a súlyos hibája, hogy szerinte minden elgondolható lehetséges”. „Minden változást lehetségesnek tartanak, és minden változást egyformán valószínűnek” (kiemelés tőlem). Szó sincs róla, hogy bárki is ezt vallaná, és még csak azt sem látom, hogy miként foghat valaki hozzá ahhoz, hogy ennek a vélekedésnek *értelmet* adjon! Mit is jelenthetne azt állítani, hogy „minden” változás egyformán valószínű? Minden változás? Ahhoz, hogy két vagy több dolog egyformán valószínű legyen az szükséges, hogy ezeket a dolgokat diszkrét eseményekként lehessen meghatározni. Például, amikor azt mondjuk, hogy a „fej vagy az írás egyformán valószínűk”, akkor ezt azért tehetjük, mert a fej és az írás diszkrét események. Ám az állat testének „összes lehetséges” változása nem tartozik az ilyen típusú diszkrét események körébe. Vegyünk két lehetséges eseményt: a tehén farka egy hüvelykkel meghosszabbodik; és a tehén farka két hüvelykkel meghosszabbodik. Vajon ez két külön esemény, és ennél fogva egyformán valószínű? Vagy csupán mennyiségi változatai ugyanannak az eseménynek?

Világos, hogy a darwinista valamilyen karikatúráját rajzolták itt meg, akinek a véletlenszerűség fogalma teljesen abszurd, ha nem értelmetlen szélsőség. Időbe telt, amíg megértettem ezt a karikatúrát, mert annyira idegen volt az általam ismert darwinista gondolkodásmódtól. De azt hiszem, most már csakugyan értem, és megkísérlem megmagyarázni, mivel úgy gondolom, segít bennünket annak megértésében, mi rejlik egy sor a darwinizmussal állítólag szemben álló nézet mélyén.

A változékonyság és a szelekció együttesen hozza létre az evolúciót. A darwinista szerint a változékonyság véletlenszerű abban az értelemben, hogy nem irányul a tökéletesedésre, s hogy az evolúcióban a tökéletesedés tendenciája a szelekcióból származik. Elképzelhetjük az evolúciós tanok kontinuumát, amelynek egyik végén a darwinizmus áll, a másik végén a mutacionizmus. A szélsőséges mutacionista úgy véli, hogy a kiválasztódás nem játszik szerepet az evolúcióban. Az evolúció irányát a felkínált mutációk iránya határozza meg. Vegyük például az emberi agy megnagyobbbodását, amely evolúciónk elmúlt néhány millió éve alatt zajlott le. A darwinista szerint a mutáció által felkínált változatok között voltak olyan egyedek, amelyeknek kisebb volt az agyuk, voltak, amelyeknek nagyobb. A kiválasztódás az utóbbiaknak kedvezett. A mutacionista azt állítja, hogy a mutáció által felkínált változékonyságban eltolódás volt a nagyobb agy javára; miután a változékonyság megjelent, nem volt szelekció (vagy nem volt szükség szelekcióra), az agy azért vált nagyobbá, mert a mutációs változás a nagyobb agyak irányába tolódott el. Összefoglalva: az evolúció során részrehajlás mutatkozott a nagyobb agy javára; ez a részrehajlás származhatott egyedül a szelekciótól (a darwinista nézet) vagy a mutációtól (ez a mutacionista nézet); e két nézet között kontinuumot tételezhetünk föl, amolyan mérleget, amelynek serpenyőiben az evolúciós részrehajlás két lehetséges forrása van. Középpütt állhatna az a felfogás, hogy volt *némi*

részrehajlás a mutációkban az agy megnagyobbodása irányában, és a fennmaradt népeességben a szelekció fokozta ezt a részrehajlást. A darwinista ábrázolásába ott lép be a karikatúra eleme, amikor azt mondja, nincs részrehajlás a szelekció számára följánlott mutációs változékonyságban. Számomra, a valóságos darwinista számára ez csupán annyit jelent, hogy a mutációban nincs szisztematikus részrehajlás az alkalmazkodó tökéletesedés irányában. Ám a darwinista életnagyságúnál nagyobb karikatúrája számára ez azt jelenti, hogy az összes elképzelhető változás „egyformán valószínű”. Félretéve az efféle vélekedés logikai lehetetlenségét, amire már utaltunk, a karikatúra darwinistáról úgy tartják, azt hiszi, hogy a test végtelenül alakítható agyag, amelyet a mindenható szelekció kényére kedvére formálhat. Fontos megértenünk a különbséget a valóságos darwinista és a karikatúra között. Ehhez egy konkrét példát használunk föl, a denevérek és az angyalok repülési technikája közötti különbséget.

Az angyalokat mindig úgy ábrázolják, hogy szárnyaik a hátukból nőnek ki, s a karjaik toll nélküliek maradnak. A denevéreknek viszont, akárcsak a madaraknak és a pterodactyloknak, nincs független karjuk. Ezek az őskarok beépültek a szárnyakba és nem használhatók – vagy csak nagyon ügyetlenül – egyéb célokra, például étel megragadására. Most hallgassuk meg egy valóságos darwinista és egy karikatúra beszélgetését.

Valóságos: Azon tűnődöm, a denevérek miért nem fejlesztettek ki az angyalokéhoz hasonló szárnyakat. Az ember azt gondolná, tudnának használni egy szabad pár kart. Az egerek állandóan használják a mancsukat az étel megragadásához és elmajszolásához, a denevérek pedig rettentő ügyetlenek a földön karok nélkül. Gondolom, az egyik válasz az lehet, hogy a mutáció sohasem hozta létre a szükséges változatot. Egyszerűen nem fordult elő olyan mutáns ősdenevér, amelynek szárnykezdemények álltak ki a háta közepéből.

Karikatúra: Ostobaság. Csak a szelekció számít. Ha a denevéreknek nincs olyan szárnyuk, mint az angyaloknak, akkor ez csak azt jelentheti, hogy a szelekció nem kedvezett az angyalszárnyaknak. Biztosan voltak mutáns denevérek, amelyeknek szárnykezdemények álltak ki a hátuk közepéből, de a szelekció nem kedvezett nekik.

Valóságos: Nagyon is egyetértek azzal, hogy a szelekció nem kedvezett volna nekik, hogyha csakugyan kisarjadtak volna. Először is megnövelték volna az egész állat tömegét, márpedig a fölös súly olyan luxus, amit egyetlen repülőszerkezet sem engedhet meg magának. De bizonyára nem gondolja komolyan, hogy a mutáció mindig előáll a szükséges változattal, bárminek is kedvezzen ezzel a szelekció?

Karikatúra: De igen. Csak a szelekció számít. A mutáció véletlenszerű.

Valóságos: No igen, a mutáció véletlenszerű, ám ez csupán annyit jelent, hogy nem lát a jövőbe és nem tudja megtervezni, hogy mi lenne jó az állat számára. Nem jelenti azt, hogy abszolút bármi lehetséges. Mit gondol, például miért nincs olyan állat, amely tüzet okád az orrlukaiból, mint

egy sárkány? Nem volna talán hasznos a préda elfogásában és megsütésében?

Karikatúra: Erre könnyű válaszolni. Csak a kiválasztódás számít. Az állatok azért nem okádnak tüzet, mert nem volna kifizetődő. A tűzokádó mutánsokat talán azért küszöbölté ki a természetes szelekció, mert a tűz készítése túlságosan energiaigényes.

Valóságos: Nem hiszem, hogy valaha is lettek volna tűzokádó mutánsok. Ha mégis, akkor feltehetőleg súlyos veszélyben lettek volna, mert megégették volna magukat!

Karikatúra: Ostobaság. Ha ez lett volna a probléma, akkor a szelekció az azbesztbélésű orrlyukak kifejlesztésének kedvezett volna.

Valóságos: Nem hiszem, hogy bármilyen mutáció valaha is produkált azbesztbélésű orrlyukakat. Nem hiszem, hogy a mutáns állatok képesek azbesztet elválasztani, ugyanúgy, ahogy nem képesek mutáns tehenek átugrani a holdat.

Karikatúra: Egy holdugró mutáns tehenet azon nyomban kiküszöbölt volna a természetes szelekció. Tudja, fönt nincs oxigén.

Valóságos: Meg vagyok lepve, hogy nem tételez fel genetikailag meghatározott ürrohával és oxigénmaszkkal felszerelt mutáns teheneket.

Karikatúra: Ez talált! Nos, feltételezem a valóságos magyarázat bizonyára az, hogy egyszerűen nem lett volna kifizetődő a tehenek számára átugrani a holdat. És nem szabad megfeledkeznünk a szokási sebesség elérésének energiaköltségéről sem.

Valóságos: Ez abszurdum.

Karikatúra: Látszik, hogy Ön nem igazi darwinista. Micsoda Ön, talán valamilyen deviáns titkos mutacionista?

Valóságos: Ha úgy gondolja, akkor találkoznia kellene egy valódi mutacionistával.

Mutacionista: Ez darwinisták belügye, vagy más is beszélhet? Az a baj mindkettőjünkkel, hogy túlságosan nagy jelentőséget tulajdonítanak a szelekciónak. A szelekció csupán arra képes, hogy kigyomlálja a durvább deformitásokat és torzszüleményeket. Nem képes valóban építő evolúcióra. Térjünk vissza a denevérszárnyak evolúciójára. A valóságban az történt, hogy földön lakó állatok ősi populációjában kezdtek felbukkanni megnyúlt ujjú és köztük bőrt hordozó mutánsok. A nemzedékek során ezek a mutánsok egyre gyakoribbak lettek, mígnem végül az egész populációnak szárnya lett. Ennek semmi köze sem volt a szelekcióhoz. Csupán beépített hajlam volt az ősi denevéralkatban a szárnyak kifejlesztésére.

Valóságos és Karikatúra (egyszerre): Égbekiáltó miszticizmus! Menjen vissza a múlt századba, ahova tartozik.

Remélem nem vagyok önhítt, ha feltételezem, hogy az olvasó sem a mutacionistával, sem a karikatúra darwinistával nem szimpatizál. Feltételezem, hogy az olvasó a valóságos darwinistával ért egyet, és természetesen én is. A karikatúra a valóságban nem létezik. Sajnos vannak, akik azt *hiszik*, hogy létezik, és azt hiszik, mivel nem értenek egyet velük, nem értenének

egyét magával a darwinizmussal sem. Van a biológusoknak egy iskolája, akikről azt gondoljuk, valami ilyesmit mondanak. Az a baj a darwinizmus-sal, hogy figyelmen kívül hagyja az embriológia megszorításait. A darwinis-ták (s itt lép be a karikatúra) azt hiszik, hogy ha a szelekció kedvez valami-lyen elképzelhető evolúciós változásnak, akkor a szükséges mutációs vari-ánsról kiderül, hogy létezik. A mutációs változás egyformán valószínű bármely irányban: a szelekció biztosítja az egyedüli részrehajlást.

Azonban bármelyik valóságos darwinista elismerné, hogy jöllehet bármelyik gén bármelyik kromoszómán, bármikor áteshet mutáción, a mutáció-nak a *testekre* gyakorolt következményeit erőteljesen korlátozzák az embri-ológia folyamatai. Ha valaha is kételkedtem volna ebben (nem kételked-tem), akkor kételyeimet eloszlatták volna számítógépes biomorfszimuláció-im. Egyszerűen nem tételezhetjük fel a hát közepén sarjadzó szárnyak mutációját. A szárny vagy bármi egyéb, csak akkor fejlődhet ki, ha a fejlődés folyamata ezt megengedi számára. Semmi sem sarjadhat ki varázs-lattal. Az embrionális fejlődés folyamatainak kell létrehozniuk. Az elgon-dolható dolgoknak csupán kisebbségét engedik meg ténylegesen a létező fejlődési folyamatok. A mutációk csak a karok fejlődésének módja miatt képesek megnövelni az ujjak hosszát és előidézni, hogy bőr nőjön közéjük. De lehet, hogy semmi sincs a hát embriológiájában, ami angyalszárnyak kisarjadásához kínálna magát. A gének addig mutálhatnak, amíg belekékül-nek, mégsem nőhet ki egyetlen emlős hátából sem angyalszárny, hacsak az emlősök embriológiai folyamatai nem teszik lehetővé ezt a változást.

Mármost mindaddig, amíg nem tudjuk az embriók kifejlődésének összes csinját-bínját, fennáll a nézetkülönbségek lehetősége arról, hogy mekkora egy konkrét mutáció létezésének vagy nem létezésének valószínűsége. Kide-rülhet például, hogy az emlősök embriológiájában semmi sem tiltja az angyalszárnyakat, s a karikatúra darwinistának igaza volt abban a *konkrét* esetben, amikor azt állította, hogy az angyalszárnykezdemények megjelen-tek, de a szelekció nem kedvezett nekik. Vagy az is kiderülhet, amikor már többet tudunk az embriológiáról, hogy megértjük, az angyalszárnyaknak sohasem volt esélyük, s ezért a szelekciónak sem volt esélye, hogy kedvezzen nekik. Van egy harmadik lehetőség is, amit a teljesség kedvéért felsorolok. Eszerint az embriológia sohasem engedte meg az angyalszárnyak létrejöttét, a szelekció pedig sohasem kedvezett volna nekik. Ahhoz azonban ragasz-kodnunk kell, hogy nem hagyhatjuk figyelmen kívül az embriológiának az evolúcióra gyakorolt korlátozó hatását. Ebben minden komoly darwinista egyetértene, mégis vannak, akik úgy állítják be a darwinistákat, mintha tagadnák. Kiderül, hogy azok, akik nagy zajt csapnak a „fejlődéstani korlá-tok”, mint állítólagos antidarwinista erő körül, összekeverik a darwinizmust az imént pellengérre állított karikatúrájával.

Mindez azzal kezdődött, hogy mit értünk ez alatt: a mutáció véletlensze-rű. Három szempontot soroltam föl, melyekből nézve a mutáció nem vélet-lenszerű: kiválthatja röntgensugárzás stb.; a mutáció gyakorisága génen-

ként változik; az előre irányuló mutációs gyakoriságok nem azonosak a visszafelé irányuló mutációs gyakoriságokkal. Ehhez most már hozzáadhatunk egy negyedik szempontot is. A mutáció nem véletlenszerű abban az értelemben sem, hogy csak az embrionális fejlődés *létező* folyamatait módosíthatja. Nem varázsolhatnak a semmiből bármilyen elképzelhető változást, amelynek azután a kiválasztódás kedvezhet. A szelekció számára rendelkezésre álló változékonyságot behatárolják az embriológia ténylegesen létező folyamatai.

Van egy ötödik szempont is, ahonnan a mutáció *lehetett volna* nem véletlenszerű. Éppenséggel elképzelhetünk egy olyan mutációt, amely szisztematikusan az állat alkalmazkodóképességének tökéletesítése irányába tolódott el. Ám – noha elképzelhetjük – soha senki sem volt képes akár csak felvetni is valamilyen módot, ahogyan ez létrejöhetett volna. A valóságos darwinista csak ebben az ötödik tekintetben, a mutacionista szempontjából állítja, hogy a mutáció véletlenszerű. A mutáció nem szisztematikusan részrehajló az alkalmazkodó tökéletesedés irányában, és (hogy finoman fogalmazunk) nem ismerünk olyan mechanizmust, amely irányítani tudná a mutációt ebben az ötödik értelemben. A mutáció véletlenszerű az alkalmazkodási előnyösség szempontjából, jóllehet nem véletlenszerű egy sor más tekintetben. A szelekció, és csak a szelekció irányítja az evolúciót úgy, hogy az az előny szempontjából nem véletlenszerű. Nem csupán ténykérdés, hogy a mutacionizmus téves. Nem is lehetne helyes. *Elvben* nem képes megmagyarázni a tökéletesedés evolúcióját. A mutacionizmus a lamarckizmussal együtt nem a darwinizmus megcáfolt riválisa, hanem egyáltalán nem rivális.

Ugyanez igaz a darwini kiválasztódás következő állítólagos riválisára, amelynek bajnoka Gabriel Dover cambridge-i genetikus, aki a *molekuláris hajtóerő* fura nevet adta nézeteinek (mivel minden molekulákból épül föl, nem világos, Dover hipotetikus folyamata miért szolgál rá inkább a *molekuláris hajtóerő* névre, mint bármely más evolúciós folyamat; ez azt az embert juttatja eszembe, aki gasztrikus gyomorról panaszkodott, és aki a dolgokat a mentális agyával találta ki). Motoo Kimura és az evolúció neutralista elméletének más hívei, mint láttuk nem vindikálnak hamis állításokat elméletüknek. Nincsenek olyan illúzióik, hogy a véletlenszerű eltolódás vetélkedne a természetes szelekcióval az alkalmazkodó evolúció magyarázatáért. Elismerik, hogy csak a természetes szelekció hajthatja az evolúciót az alkalmazkodás irányába. Ők csupán annyit állítanak, hogy az evolúciós változások nagy része (már ahogy a molekuláris genetikusok látják az evolúciós változást) nem alkalmazkodó. Dover nem ilyen szerény a maga elméletét tekintve. Úgy gondolja, meg tudja magyarázni az *egész* evolúciót a természetes szelekció nélkül, noha nagylelkűen megengedi, hogy lehet *valami* igazság a természetes kiválasztódásban is!

E könyvben mindvégig először a szem példájához folyamodtunk, amikor ilyesmit vettünk fontolóra, noha természetesen csak egyik képviselője a szer-

vek azon tág körének, amelyek túlságosan bonyolultak és jól megkonstruáltak ahhoz, hogy a puszta véletlen hozhatta volna létre őket. Ismételten kifejtettem, hogy még csak a közelébe is csupán a természetes szelekció jön annak, hogy ésszerű magyarázattal szolgáljon az emberi szemre és a hozzá fogható rendkívüli tökélyű és bonyolultságú szervekre. Szerencsére Dover nyíltan megfelel a kihívásra, és megadja a maga magyarázatát a szem evolúciójára. Tegyük fel, mondja, hogy ezer evolúciós lépésre van szükség ahhoz, hogy a szem a semmiből kialakuljon. Ez azt jelenti, hogy ezer genetikai változásra van szükség a puszta bőrfoltnak szemmé való átalakításához. Ez a vita kedvéért elfogadható feltevésnek tűnik számomra. Biomorfország fogalmával ez azt jelenti, hogy a szem helyén puszta bőrt viselő állat ezer genetikai lépés távolságra van a szemes állattól.

Mármost miként magyarázzuk meg azt a tényt, hogy éppen a helyes ezer lépésre került sor ahhoz, hogy a szem a mai formájában előálljon? A természetes szelekció magyarázata jól ismert. Legegyszerűbb formájára redukálva azt mondhatjuk, hogy az ezer lépés mindegyikénél a mutáció egy sor alternatívát kínált, amelyek közül csupán egynek volt sikere, mert segítette az életben maradást. Az evolúció ezer lépése ezer egymást követő választási pontot képvisel, amelyek mindegyikénél az alternatívák többsége halálhoz vezetett. A mai szem alkalmazkodó bonyolultsága ezer sikeres tudattalan „döntés” végterméke. A faj egy konkrét útvonalat követett az összes lehetőség labirintusán át. Az úton ezer elágazási pont volt, s mindegyiknél azok lettek az életben maradók, amelyek történetesen a javuló látáshoz vezető irányt választották. Az útfélen ott hevernek azoknak a kudarcot vallottaknak a tetemei, amelyek az ezer egymást követő útelágazásnál a rossz irányt választották. A ma ismert szem ezer sikeres szelektív „választás” sorának végterméke.

Ez a természetes szelekció (egyik lehetséges) magyarázata arra, hogy miként fejlődött ki a szem ezer lépésben. Hogy állunk Dover magyarázatával? Lényegében szerintem nem számítana, hogy a leszármazási vonal az egyes lépéseknél melyik választás mellett dönt: visszamenőleg lelt rá, hogy miként használhatja az eredményül kapott szervet. A leszármazási vonal minden egyes lépése szerintem véletlenszerű. Az első lépésnél például egy véletlenszerű mutáció terjedt szét a fajban. Mivel az újonnan kialakult tulajdonság a funkció szempontjából véletlenszerű, nem segíti az állat életben maradását. Így hát a faj keres a világban egy új helyet vagy új életmódot, ahol használhatná ezt az új, véletlenszerű tulajdonságot, amelyet a mutáció testére rákényszerített. Miután talált ilyen környezetet, olyan környezetet, amely megfelel teste véletlenszerű részének, eléldégél itt egy ideig, mígnem egy új véletlenszerű mutáció lép föl és terjed szét a fajban. A fajnak ekkor át kell kutatnia a világot olyan új hely vagy életmód után, ahol az új véletlenszerű tulajdonsággal élhetne. Amikor rábukkannak, befejeződött a második lépés. Ekkor a harmadik lépés szerinti véletlenszerű mutáció terjed szét a fajban, és így tovább ezer lépésen át, míg végül a ma ismert szem kialakult.

Dover rámutat, hogy az emberi szem történetesen az ún. „látható” fényt látja, és nem az infravöröset. Ám ha a véletlenszerű folyamatok történetesen infravörösre érzékeny szemmel szereltek volna fel bennünket, akkor kétségtelen, hogy a legtöbbet hoztuk volna ki belőle, és találtunk volna olyan életmódot, ahol a legnagyobb hasznát vehetjük az infravörös sugarak látásának.

Első pillantásra ennek az elgondolásnak van bizonyos csaloéka plauzibilitása, de csak egy nagyon rövid pillantásra. Csábító volta abból a takaros szimmetriából ered, amellyel a természetes szelekciót a feje tetejére állítja. A természetes szelekció legegyszerűbb formájában feltételezi, hogy a környezet van a faj nyakába varrva, és azok a genetikai változatok, amelyek a legjobban illeszkednek ehhez a környezethez, életben maradnak. A környezet az adott, és a faj megy át evolúción, hogy alkalmazkodjék hozzá. Dover elmélete ezt a feje tetejére állítja. A faj természete az, ami „ki van róva rá”, ebben az esetben a mutáció viszontagságai és más, Dover különös érdeklődésére számot tartó belső genetikai erők folytán. A faj ezután fölku-tatja az összes környezetből álló halmaz azon tagját, amely a legjobban illeszkedik a rá kirótt jellegre.

Ez a csábos szimmetria azonban valójában felszínes. Hogy Dover mennyire a lila ködök birodalmában jár, az nyomban kiderül, amint számokban kezdünk el gondolkodni. Sémájának lényege, hogy az ezer lépés egyikénél sem számít, merre fordul a faj. Minden újítás funkcionális szempontból véletlenszerű, majd a faj olyan környezetet talál, amely ennek megfelel. Ebből következik, hogy a faj *talál* megfelelő környezetet, függetlenül attól, hogy útközben melyik ágat választotta az elágazásnál. Gondoljuk most meg, hány lehetséges környezetet kell ekkor föltételeznünk. 1000 elágazási pontunk volt. Ha minden egyes elágazás csupán kétfelé megy (szembeállítva a hármas vagy a 18-as elágazásokkal ez konzervatív feltevés), az életre alkalmas környezetek összegének elvben 2^{1000} -nek kell lenni ahhoz, hogy Dover sémája működhessen (az első elágazás két utat eredményez; azután ezeken az elágazásokon újabb kettő, amelyből összesen négy lesz; ezek mindegyike tovább ágazik, így kapunk 8-at; azután 16-ot, 32-t, 64-et ... végig egészen a 2^{1000} -ig). Ezt a számot egy egyessel és utána 301 nullával írhatjuk le. Ez messze-messze nagyobb, mint az egész világegyetemben levő atomok összege.

A szelekció Dover-féle állítólagos vetélytársa sohasem működhetne, nemcsak egymillió éven belül soha, hanem milliószor hosszabb időn belül sem, mint amióta a világegyetem létezik, soha egymillió világegyetemben, amely egyenként milliószor olyan hosszú ideig állt fönn. Vegyük észre, hogy ezt a következtetést nem érinti lényegesen, ha megváltoztatjuk Dover kezdeti kiinduló feltevését, hogy 1000 lépésre volna szükség a szem kialakulásához. Ha mindössze 100 lépésre csökkentjük le, amivel valószínűleg jócskán alábecsüljük, akkor még mindig arra a következtetésre jutunk, hogy több mint millió-millió-millió-millió-millió lehetséges, életre alkalmas környezetnek

kell mintegy ugrásra készen várakoznia, hogy bármilyen véletlenszerű lépést tesz is a leszármazási vonal, fogadni tudja. Ez a korábbinál kisebb szám, de még mindig azt jelenti, hogy a Dover-féle ugrásra készen várakozó „környezetek” túlnyomó többségének kisebbnek kell lennie egyetlen atomnál.

Érdemes megmagyarázni, hogy a természetes szelekció elmélete miért van védve a „nagy számok érv” valamelyik szimmetrikusan romboló hatású változtatásával szemben. A 3. fejezetben úgy képzeljük el az összes valóságos és elgondolható állatot, hogy egy óriási hipertérben üldögélnek. Itt is hasonló dolgot teszünk, de úgy egyszerűsítjük le, hogy az evolúciós elágazási pontokat kétágúnak vesszük, és nem 18 ágúnak. Így az összes lehetséges állat halmaza, amelyek 1000 evolúciós lépésben kifejlődhettek volna, egy gigantikus fán gubbasztanak, amely ágazik és ágazik mindaddig, amíg végső ágainak száma eléri az egy egyesből és utána 301 nullából álló számot. Bármely tényleges evolúciótörténet ezen a hipotetikus fán átvezető konkrét útvonalként ábrázolható. Az összes elgondolható evolúciós út közül csupán egy elenyésző kisebbség valósult meg. Úgy képzelhetjük el, hogy ennek az összes lehetséges állat fájának legnagyobb része a nemlét sötéttségében bújik meg. Itt-ott néhány megvilágított ága kiemelkedik a sötét fából. Ezek a ténylegesen megvalósult evolúciós útvonalak, amelyek bármily sokan legyenek is, az összes ág halmazának még mindig csupán elenyésző kisebbségét alkotják. A természetes szelekció az a folyamat, amely képes kiválasztani az útvonalat az összes elgondolható állat fáján, és mindig megtalálja az utaknak azt a kisebbségét, amely járható. A természetes szelekció elmélete nem támadható azzal a nagy számok érvvel, amit Dover elmélete ellen fordítottam, mivel ennek az elméletnek lényege, hogy folyamatosan lenyesi a fa ágainak legnagyobb részét. Pontosan ez az, amit a természetes szelekció elvégez. Lépésről lépésre kiválasztja útvonalát az összes elgondolható állatok fáján át, kikerülve a terméketlen ágak szinte végtelenül nagy többségét – az olyan állatokat, amelyek talpukon hordják a szemüket stb. –, mely steril ágakat Dover elmélete köteles különös fordított logikájának jellege folytán eltűnni.

Már foglalkoztunk a természetes szelekció elméletének összes állítólagos alternatívájával, kivéve egyet, a legrégebbit. Ez az az elmélet, amely szerint az életet tudatos konstruktőr teremtette vagy evolúcióját kitervelte. Nyilvánvalóan sportszerűtlen volna ennek az elméletnek valamely konkrét változatát lerombolni, például azt, amelyet a Teremtés Könyve fejt ki. Szinte minden nép megalkotta a maga teremtésmítoszáét, s a genezis története egyszerűen csak az, amit történetesen a közel-keleti pásztor törzsek egyike tett magáévá. Nincs különlegesebb státusa, mint az egyik nyugat-afrikai törzs azon hiedelmének, hogy a világot a hangyák ürülékéből teremtették. Mindezekben a mítoszokban az a közös, hogy valamilyen természetfeletti lény szándékos cselekedetén alapulnak.

Első pillantásra fontos különbség tehető az „egyik pillanatról a másikra való teremtés” és az „irányított evolúció” között. A kicsit is műveltebb mai

teológusok már nem hisznek az egyik pillanatról a másikra való teremtésben. Az evolúció valamilyen fajtája mellett szóló bizonyítékok túlságosan nyomasztókká váltak. Ám sok magát evolucionistának nevező teológus, például a birminghami püspök, akit a 2. fejezetben idéztünk, becsempészi Istent a hátsó ajtón: valamilyen felügyelő szerepet biztosítanak számára, ahonnan irányíthatja, hogy az evolúció milyen irányt vesz, akár az evolúció történetének kulcsfontosságú pillanatait befolyásolva (különösen természetesen az *ember* evolúciós történetét), vagy átfogóbb módon is befolyolyva azokba a nap nap utáni eseményekbe, amelyekből az evolúciós változás összetevődik.

Az efféle hiedelmeket nem tudjuk cáfolni, különösen ha feltételezzük, Isten ügyelt arra, hogy közbeavatkozásai mindig pontosan utánozzák azt, amit a természetes szelekció általi evolúciótól várhatnánk. Az ilyen hiedelmekről csupán annyit mondhatunk, hogy először is fölöslegesek, másodsor pedig *feltételezik* annak a fő dolognak a létezését, amit *magyarázni* akarunk, nevezetesen a szervezett komplexitást. Az evolúciót egyebek között éppen az teszi olyan áttetsző szerkezetű elméletté, hogy megmagyarázza, miként keletkezett a szervezett komplexitás az ős egyszerűségekből.

Ha feltételezzük egy istenséget, amely képes a világ összes szervezett komplexitását megtervezni, akár egyik pillanatról a másikra, akár irányított evolúció által, ennek az istenségnek már eleve rendkívül bonyolultnak kell lenni. A teremtés híve, legyen az naiv bibliaforogató vagy művelt püspök, egyszerűen *feltételezi*, hogy már létezik egy rendkívüli intelligenciájú és komplexitású lény. Ha már megengedjük magunknak azt a luxust, hogy szervezett komplexitást feltételezzünk anélkül, hogy magyarázatot kínáljunk rá, akkor már végezzünk alapos munkát, és egyszerűen vegyük az élet létezését úgy, ahogy ismerjük! Röviden, az isteni teremtés akár egyik pillanatról a másikra, akár irányított evolúció formájában képzeljük el, az ebben a fejezetben szemügyre vett többi elmélet mellé tehető. A felszínes látszat mindegyik esetben az, hogy a darwinizmus alternatívái, amelyeknek erőnyeit ellenőrizni lehet bizonyítékok segítségével. A közelebbi vizsgálat mindegyikről kimutatja, hogy egyáltalán nem versenytársai a darwinizmusnak. Az összegződő természetes szelekció általi evolúció elmélete az egyetlen olyan ismert elmélet, amely elvben *képes* megmagyarázni a szervezett komplexitás kifejlődését. Még ha bizonyítékok nem is szólnának mellette, akkor is a rendelkezésünkre álló legjobb elmélet volna! A valóságban azonban a bizonyítékok is mellette szólnak. De ez már egy másik történet.

Vegyük hát a végkövetkeztetést. Az élet lényege kolosszális nagyságrendű statisztikai valószínűtlenség. Bármilyen legyen is tehát az élet magyarázata, a véletlen nem lehet. Az élet valódi magyarázatának éppen a véletlen antitézisének kell megtestesítenie. A véletlen antitézise a helyesen felfogott nem véletlenszerű életbenmaradás. A helytelenül felfogott véletlenszerű életbenmaradás nem a véletlen antitézise, hanem maga a véletlen. E két szélsőséget folytonos átmenet köti össze, s ez a kontinuum az egy lépéses szelekciótól

az összegződő szelekcióig húzódik. Az egy lépéses szelekció csupán egy újabb kifejezőmódja a merő véletlennek. Ezt értem én helytelenül felfogott nem véletlenszerű életbenmaradáson. A lassú, fokozatos *összegződő szelekció* a magyarázat, az egyetlen használható magyarázat, amit valaha adtak az élet bonyolult építményének létezésére.

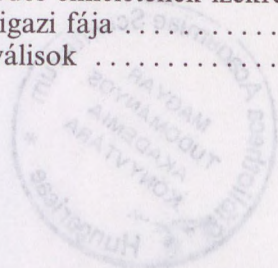
Az egész könyvön a véletlen eszméje uralkodott, a csillagászati hosszúságú számokban kifejezett esélyek, a rend, a komplexitás és a látszólagos tervezés spontán keletkezésével szemben. Arra törekedtünk, hogy megszelídítsük a véletlent, kihúzzuk a méregfogát. A „merő véletlen”, a tiszta póre véletlen azt jelenti, hogy a megtervezett rend a semmiből egyetlen ugrással szökken életre. Merő véletlen volna, ha ott, ahol valaha nem volt szem, hirtelen egy nemzedék szemvillanása alatt szem jelenne meg, teljesen megformálva, tökéletesen és épen. Ez lehetséges, de hogy leírjuk a vele szembeni esélyeket, az idők végezetéig nullákat kellene írunk. Ugyanez áll bármely teljesen megformált, tökéletes és egész lények, köztük – nem látok módot a következtetés kikerülésére – istenségek spontán létével szembeni esélyekre is.

A véletlen „megszelídítése” azt jelenti, hogy a nagyon valószínűtlen sorba rendezett kevésbé valószínűtlen kis összetevőkre bontjuk le. Nem számít, mennyire valószínűtlen, hogy egy X egyetlen lépésben keletkezett légyen Y-ból, mindig el lehet gondolni közöttük egy sor infinitezimális fokokra osztott köztes állapotot. Bármilyen valószínűtlen is egy nagyléptékű változás, a kisebb változások kevésbé valószínűtlenek. És feltéve, hogy kellőképpen finom fokbeosztású köztes esetek eléggé nagy sorozatát feltételezzük, képesek leszünk bármit bármiből levezetni anélkül, hogy csillagászati valószínűtlenségekhez folyamodnánk. Ezt csak akkor van módunk megtenni, ha elegendő idő áll rendelkezésünkre a köztes esetek beillesztéséhez. És úgyszintén csak akkor, ha valamilyen mechanizmus irányítja az egyes lépéseket egy adott irányba, máskülönben a lépések sora végtelen véletlenszerű tévelygésbe fut.

A darwinista világnézet azt tartja, hogy mindkét feltétel kielégül, és létünk végső magyarázata a lassú, fokozatos, összegződő természetes szelekció. Ha vannak az evolúciós elméletnek olyan változatai, amelyek tagadják a lassú fokozatok létét és tagadják a természetes szelekció középponti szerepét, akkor ezek akár igazak is lehetnek konkrét esetekben. De nem hordozhatják a teljes igazságot, mert az evolúciós elmélet leglényegét tagadják, amelytől hatalmában áll feloldani a csillagászati valószínűtlenségeket és megmagyarázni a látszólagos csodákat.

Tartalom

Előszó	5
1. fejezet. Megmagyarázni az alig hihetőt	8
2. fejezet. A jó terv	24
3. fejezet. Halmozódó apró változások	44
4. fejezet. Ösvények az állati térben	74
5. fejezet. A hatalom és a levéltárak	105
6. fejezet. Eredetek és csodák	129
7. fejezet. Az alkotó evolúció	155
8. fejezet. Robbanások és spirálok	178
9. fejezet. A szagztatott fejlődés elméletének ízekre szedése	203
10. fejezet. Az élet egyetlen, igazi fája	230
11. fejezet. Kudarokra ítélt riválisok	258



Az előszó és a 1. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 2. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 3. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 4. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 5. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 6. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 7. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 8. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 9. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 10. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.
A 11. fejezet a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárában található.

Az előzéklap Liz Pyle illusztrációjának felhasználásával készült

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat,
valamint a Mezőgazda Kiadó igazgatója
A szedést a Fényszedő Központ Kft. végezte

A nyomást és a kötést az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat végezte

Felelős vezető: Zöld Ferenc igazgató

Nyomdai táskaszám: 22693

Felelős szerkesztő: dr. Pesthy Gábor és Bártfai László

Tipográfus: Kelemen Eörs

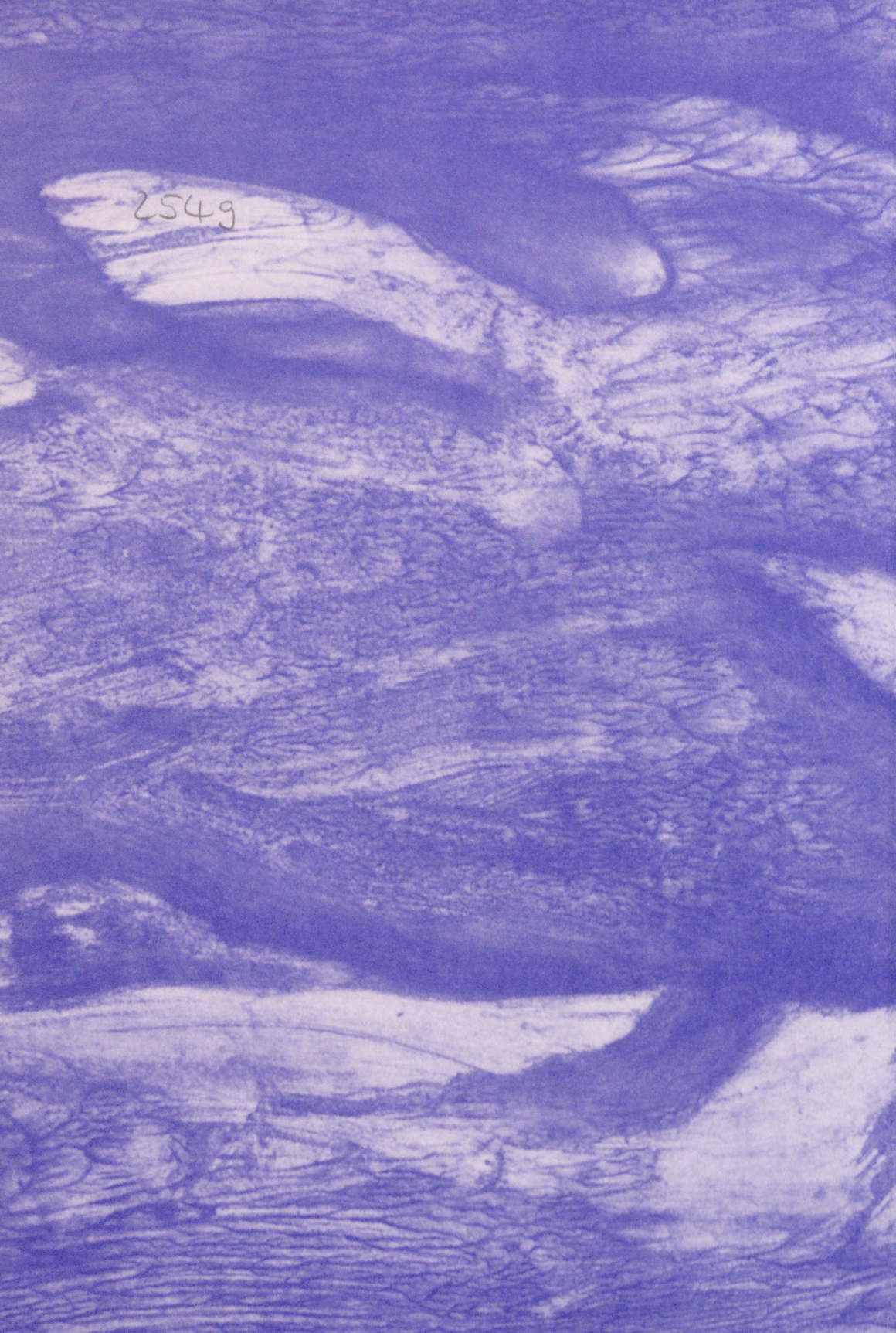
Műszaki szerkesztő: Merkly László

A fedéltervet készítette: Lőrincz Attila

Megjelenet 25,74 (A/5) ív terjedelemben



2549





Amikor William Paley lelkiatya *A természet teológiája...* (1802) c. művében – Canterburyi Anselmus, Pascal és Spinoza nevezetes argumentumai után – egy újabb érveléssel rukkolt elő Isten létezésével szemben, gondolni sem gondolhatta, hogy okoskodását egyszer a fonákjára fordítja valaki, és ha nem is Isten nemlétét bizonyítja majd vele, de az evolúció „mindenhatóságát” alighanem. Paleyt, a kiváló tudóst lenyűgözte a természet tökéletessége, s úgy vélekedett, hogy amiképpen valamely remek, pl. egy műves és pontos ingaóra meglétéből joggal következtethetünk az azt tervező és készítő órásmester léteire, azonképpen egy természeti „tárgy”, pl. az emberi szem megléte egymagában kezeskedik az „égi órásmester” létezéséről. Richard Dawkins, e világhírű könyv szerzője, meglehetősen tiszteletlenül bánva a hajdani tiszteletes eszméivel, az „égi órásmestert” földinkké fokozza le, ráadásul a szeme világát is kioltja. Az élő világát megszabó vak mester pedig – véleménye szerint – nem más, mint a kumulatív szelekció. Dawkins érthetően és szemléletesen foglalja össze az „élet tudományának” mai állását, melynek vezérelve az evolúciós gondolat.

Az a gondolat, amelyet – noha e tudomány sarkkövévé vált – sokan és sok irányból támadnak ma is. Úgy tűnik föl, megalapozatlanul. A szerző arra törekszik, hogy megszelidítse a pusztát, vak véletlent, megmagyarázza a látszólagos csodákat.

Mert nem kevesebbet kísérel meg, mint hogy az élő szervezetek bonyolultságának rejtélyére rávilágítson és egyben a megoldást is megadja.

A könyvet elolvastán az Olvasónak az a benyomása támad, hogy mindkét feladattal sikerült megbirkóznia.

Ára: 931,- Ft áfával

RICHARD DAWKINS • A vak órásmester

696656