

REKA IZ RAJA

Dela Ričarda Dokinsa

Sebični gen
Prošireni fenotip
Slepi časovničar
Reka iz raja
Uspon Planinom neverovatnosti
Rasplitanje duge
Đavolov kapelan
Priče predaka
Zabluda o Bogu
Najveća predstava na Zemlji
Čarolija stvarnosti
Apetit za čudesnim
Nauka u duši

RIČARD
DOKINS

REKA
IZ RAJA

Darvinistički pogled na život

Prevod
Dejan Smiljanić



Edicija *Dela Ričarda Dokinsa*
Knjiga 6

Naslov originala
Richard Dawkins: RIVER OUT OF EDEN

Copyright © 1995 by Richard Dawkins
Copyright © 2011, 2017 za srpsko izdanje, Heliks

Izdavač
Heliks

Za izdavača
Brankica Stojanović

Urednik edicije
Bojan Stojanović

Lektor
Vesna Đukić

Štampa
Newpress, Smederevo

Drugo izdanje

Knjiga je složena
tipografskim pismom
Monotype Bembo

ISBN: 978-86-6024-003-5

Smederevo, 2017.
www.heliks.rs

U spomen na

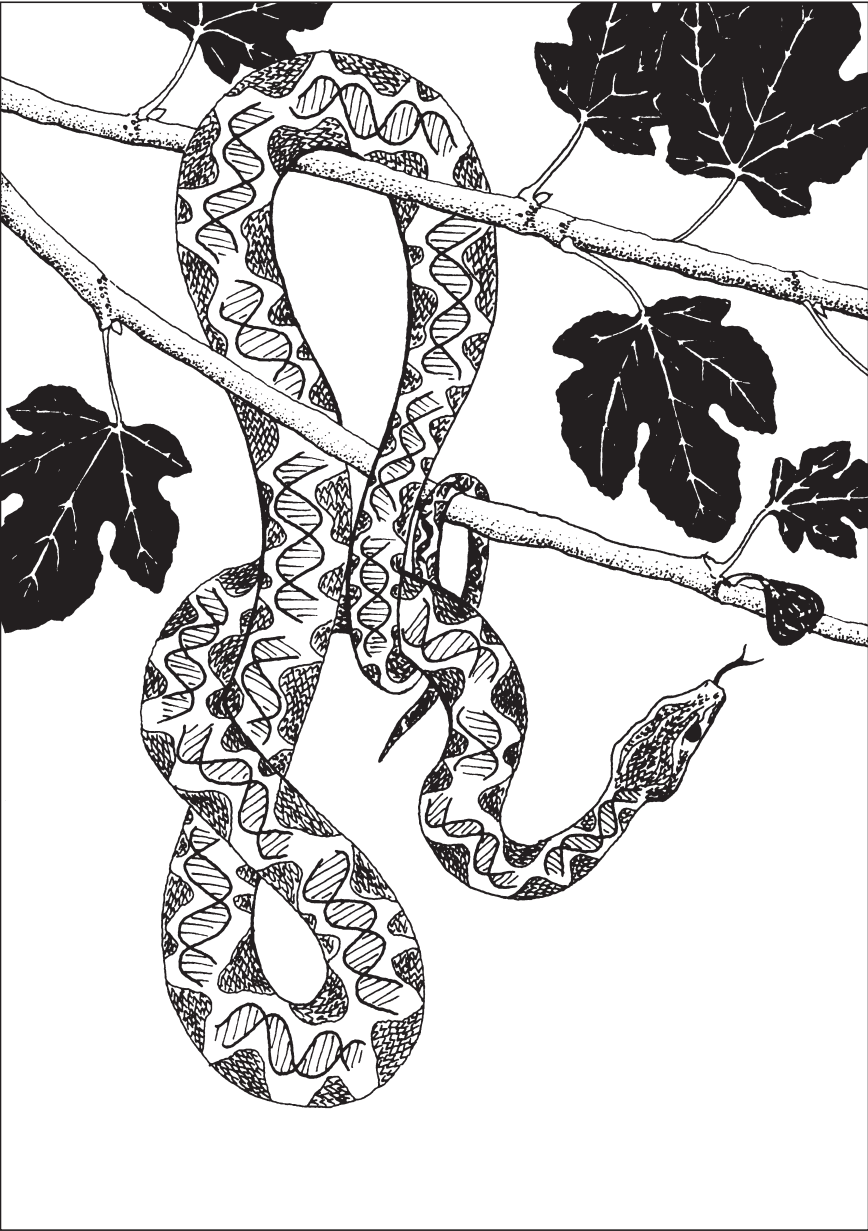
HENRIJA KOLIJERA DOKINSA (1921–1992),
sa koledža Sent Džon u Oksfordu,
predavača s maestralnim umećem objašnjavanja.

A voda tecijaše iz Edena natapajući vrt...

—*Postanje 2:10*

SADRŽAJ

<i>Predgovor</i>	xi
1. Digitalna reka	I
2. Svekolika Afrika i njeno potomstvo	29
3. Čini dobro iz potaje	57
4. Funkcija korisnosti Boga	93
5. Replikaciona bomba	133
<i>Bibliografija</i>	161
<i>Indeks</i>	165



PREDGOVOR

Kao da je priroda popularno ime
Milijardu milijardi milijarda čestica
Što bilijar da igra do beskrajna zna
—Pit Hajn

Pit Hajn neguje klasično nevin pristup svetu fizike. Međutim, kada rikošeti iz ovog atomskog bilijara slučajno sklope objekat koji ima određeno, naizgled neupadljivo svojstvo, u svemiru nastane važan događaj. To svojstvo je sposobnost samoreplikacije, to jest objekat je sposoban da koristi okolni materijal kako bi pravio tačne kopije samoga sebe, kopirajući čak i male greške koje pri tome nastaju. Posle ovakvog jedinstvenog događaja, bilo gde u svemiru, sledi darvinističko odabiranje i barokna ekstravagancija koju mi na ovoj planeti zovemo život. Nikada dosad nije objašnjeno toliko mnogo činjenica uz tako

malo pretpostavki. Darwinova teorija nema samo superiornu moć objašnjavanja, već je i njena ekonomija kad to čini žilavo elegantna – prava poetska lepota koja prevazilazi čak i najzamamnije svetske mitove o postanku. Jedan od ciljeva koje sam postavio pri pisanju ove knjige bio je i taj da odam dužno priznanje inspirativnom aspektu našeg savremenog tumačenja darvinističkog života. Mnogo je više poezije u Mitohondrijskoj Evi nego u njenoj mitološkoj imenjakinji.

Svojstvo života koje, po rečima Dejvida Hjuma, izaziva „najveće divljenje kod svih ljudi koji su o tome razmišljali“, jesu zamršeni detalji pomoću kojih izvršavaju svoju očiglednu svrhu njegovi mehanizmi – mehanizmi koje je Čarls Darwin nazvao „organi izuzetno savršeni i složeni“. Drugo svojstvo zemaljskog života koje nas impresionira jeste njegova štedra raznolikost: mereno brojem vrsta, postoje desetina miliona načina da se živi. Drugi moj cilj u ovoj knjizi jeste da ubedim čitaoce kako su „načini življenja“ sinonimi za „načine prenošenja teksta kodiranog u DNK budućim generacijama“. Reka iz naslova odnosi se na reku DNK, koja teče i grana se kroz geološko vreme, a metafora o njenim strmim kaskadama koje u sebi kriju genetske igre svih vrsta čini se izuzetno pogodnom i korisnom u objašnjenjima.

Kako god uzmemo, sve moje knjige su bile posvećene širenju i istraživanju skoro bezgraničnih moći Darwinovih principa – moći koje su se oslobađale kad god i gde god je bilo dovoljno vremena da se razviju posledice primordijalnog samoreplikovanja. *Reka iz Raja* nastavlja ovu misiju i dovodi do svojevrsnog vanzemaljskog vrhunca priču o posledicama koje mogu nastati kada se replikatori umešaju u inače nevinu igru atomskih bilijarskih kugli.

Dok sam pisao ovu knjigu podržavali su me i ohrabrivali, savetovali i grupno konstruktivno kritikovali Majkl Birket, Džon Brokman, Stiv Dejvis, Danijel Denet, Džon Krebs, Sara Lipinkot, Džeri Lajons i naročito moja supruga Lala Vord, koja je takođe izradila sve crteže. Neki pasusi, tu i tamo, delovi su članaka objavljenih na drugom mestu. Pasusi u prvom poglavlju o digitalnom i analognom kodu zasnivaju se na mom članku objavljenom 11. juna 1994. (*The Spectator*). Deo izlaganja u trećem poglavlju – o radu Dena Nilsona i Sjuzan Pelger u vezi s evolucijom oka – preuzet je iz mog članka „Novosti i pogledi“, objavljenog 21. aprila 1994. u časopisu *Nature*. Hvala urednicima oba časopisa što su mi dozvolili da koristim te članke. Na kraju, zahvalan sam i Džonu Brokmanu i Entoniju Čitemu što su me pozvali da objavljujem u ediciji *The Science Masters*, posvećenoj najuticajnijim naučnicima.

U Oksfordu, 1994.

REKA IZ RAJA



POGLAVLJE I

Digitalna reka

Svi ljudi na svetu neguju epske legende o svojim plemenskim precima, a te legende često postaju religiozni kultovi. Ljudi poštuju, često i obožavaju svoje pretke – što čine s pravom, zato što su to njihovi pravi preci, a ne kakvi nadzemaljski bogovi koji čuvaju ključeve razumevanja života. Od svih rođenih organizama, većina umre pre nego što dočeka zrelost. Od manjine koja preživi i množi se, samo jedan sasvim mali deo stvori potomstvo koje traje kroz hiljade godina. Ova malecka manjina, rodonačelnička elita, jeste sve što buduće generacije mogu da nazivaju svojim precima. Preci su retkost, dok su potomci nešto sasvim obično.

Svi organizmi koji su ikada živeli – svaka životinja i biljka, svaka bakterija ili gljivica, svaki puzavac i svaki čitalac ove knjige – mogu da bace pogled unazad ka svojim precima i da ponosno izjave: ni jedan jedini od naših predaka nije umro u ranoj

mladosti. Svi su dostigli zrelost i svaki je bio sposoban da pro-
nađe barem jednog heteroseksualnog partnera s kim se uspešno
spario.* Nijednog našeg pretka nije sredio neprijatelj ili neki
grozni virus, niti se taj predak slučajno omakao niz liticu, pre
nego što je doneo barem jedno dete na svet. Hiljade savremenika
naših predaka su podlegle u sličnim situacijama, ali ne i bilo koji
naš predak. Ove tvrdnje su potpuno očigledne, pa ipak iz njih
sledi štošta: mnogo toga neobičnog i neočekivanog, onoga što
objašnjava i onoga što začuđuje. Sve to je predmet ove knjige.

Pošto svi organizmi nasleđuju sve svoje gene od svojih pre-
daka, a ne od njihovih neuspešnih savremenika, svi organizmi
teže da poseduju uspešne gene. Oni imaju ono što preci moraju
imati – a to znači, sposobnost da prežive i da se reprodukuju.
Zbog toga organizmi teže da naslede gene s dispozicijom za
gradnju dobro konstruisane mašine – tela koje aktivno radi na
tome da postane predak. Zbog toga ptice tako dobro lete, ribe
plivaju, majmuni se pentraju, virusi se šire. Zbog toga volimo
život, volimo seks i volimo decu. Zbog toga mi svi, bez ijed-
nog izuzetka, nasleđujemo sve naše gene od neprekinute linije
naših uspešnih predaka. Svet postaje prepun organizama koji
imaju sve što je potrebno da budu preci. To je, rečju, darvini-
zam. Darwin je, naravno, kazao više od toga, a danas se ima
reći još mnogo više, pa se zbog toga ova knjiga ne završava na
ovom mestu.

* Strogo govoreći, postoje izuzeci. Neke životinje, kao što su lisne vaši, reprodukuju se bespolnim putem. Pošto su razvijene izvesne tehnike, kao što je veštačka oplodnja, ljudi danas mogu dobiti decu bez parenja i čak bez dostizanja polne zrelosti, jer se jajna ćelija za oplodnju in vitro može uzeti iz ženskog fetusa. Međutim, u većini drugih slučajeva moj argument strogo važi.

Postoji prirodno, duboko štetno pogrešno tumačenje pret-hodnog pasusa. Lako je pomisliti da su preci, kada su radili uspješne stvari, prenosili na svoje potomstvo gene naprednije od gena koje su primili od svojih roditelja. Nešto od njihovog uspeha kao da se utrljalo u njihove gene i zato su njihovi potomci tako dobri letači, plivači i zavodnici. Pogrešno, pot-puno pogrešno! Geni se ne poboljšavaju tokom korišćenja, oni se samo prenose potpuno neizmenjeni, osim u slučaju retkih slučajnih grešaka. Ne čini uspešnost gene dobrim, već dobri geni donose uspešnost, a ništa što pojedinac tokom svog života uradi ne odražava se na njegove gene. Pojedinci koji se rode s dobrim genima imaju najviše šanse da odrastu i postanu uspešni preci; prema tome, veća je šansa da će se u budućnost prenositi dobri geni, nego oni rđavi. Svaka generacija je filter, sito: dobri geni su skloni da prođu kroz njega u narednu generaciju, dok su loši geni skloni da završe u telima koja umiru mlada ili bez repro-dukovanja. Loši geni mogu da prođu kroz sito tokom jedne ili dve generacije, možda stoga što imaju sreće pa isto telo dele s dobrim genima, ali je potrebno više od sreće da se uspešno prođe kroz hiljadu sita u nizu. Posle hiljadu uspešnih generacija, geni koji su prošli mogu se smatrati baš dobrim.

Rekao sam da su geni koji preživljavaju kroz generacije upravo oni koji uspešno prave pretke. To je tačno, ali postoji jedan prividan izuzetak koji moram da objasnim pre nego što pomisao na njega izazove zabunu. Neki pojedinci su neopozivo sterilni, pa ipak su naizgled pripremljeni da potpomognu preno-šenje svojih gena budućim generacijama. Mravi radnici, pčele, ose i termity su sterilni. Oni rade ne da bi sâmi postali preci, već

da plodni rođaci, obično njihove sestre i braća, postanu preci. Ovde treba shvatiti dve činjenice. Najpre, kod svih vrsta životinja postoji visoka verovatnoća da sestre i braća imaju kopije istih gena. Potom, ne određuju geni da li će, recimo, pojedini termit postati rasplodna jedinka ili sterilni radnik već to zavisi od okruženja. Svi termiti sadrže gene sposobne da ih pretvore u sterilne radnike u određenim uslovima ili u rasplodivače u drugim uslovima. Rasplodivači prenose kopije istih gena koje stvaraju sterilne radnike, a ovi im u tome pomažu. Sterilni radnici rade pod uticajem gena čije se kopije nalaze u telima rasplodivača. Kopije tih gena u radnicima trude se da pomognu u prenošenju sopstvenih reproduktivnih kopija kroz generacijsko sito. Termiti radnici mogu da budu mužjaci ili ženke, ali su kod mrava, pčela i osa svi radnici ženke, iako je princip u svemu ostalom isti. U svom ogoljenom obliku on je primenljiv i na više vrsta ptica, sisara i drugih životinja kod kojih starija braća i sestre ispoljavaju izvestan stepen brige za mlađe. Da sumiramo, geni mogu da plate svoj prolazak kroz sito ne samo tako što će telu u kome su pomoći da postane predak, već i tako što će pomoći da i srodno telo postane predak.

Reka iz moje knjige je reka DNK i ona ne teče kroz prostor, već kroz vreme. To nije reka kostiju i tkiva, nego reka informacija, reka apstraktnih uputstava za građenje tela, a ne reka samih tih materijalnih tela. Informacije prolaze kroz tela i utiču na njih, ali se pri prolasku same ne menjaju. Reka ne samo da se ne menja pod uticajem iskustava i postignuća uzastopnih tela kroz koja protiče, nego je potpuno neosetljiva i na potencijalni izvor kontaminacije koji je mnogo moćniji: na seks.

U svakoj vašoj ćeliji polovina gena vaše majke tiska se uz polovinu gena vašeg oca. Majčini i očevi geni tesno sarađuju u stvaranju onog suptilnog i nedeljivog amalgama koji vi predstavljate. Kada dođe vreme za prelazak na sledeću generaciju gen odlazi u telo određenog deteta ili ostaje gde je. Očevi i majčini geni se ne mešaju, oni se nezavisno rekombinuju. Svaki gen u vama je potekao ili od oca ili od majke. On je takođe potekao od jednog i samo od jednog između njihova četiri roditelja, samo od jednog od vaših osam praroditelja itd., itd.

Govorim o reci gena, ali isto tako možemo govoriti i o društvu dobrih saputnika koji zajedno marširaju kroz geološko vreme. Kada se gleda na duže, svi geni jedne populacije koja se rasplodava jesu saputnici. Posmatrani u uskom vremenskom isečku, oni miruju u pojedinačnim telima i privremeno intimnije sarađuju s drugim genima s kojima dele isto telo. Geni preživljavaju kroz eone samo ako su dobri u građenju tela koja mogu uspešno živeti i reprodukovati se u posebnim životnim uslovima koje vrsta beše odabrala. Ali ima tu i nešto više. Da bi uspešno preživeo, gen mora uspešno sarađivati s drugim genima u istoj vrsti – u istoj reci. Da bi preživeo na dugi rok, gen mora da bude dobar saputnik. On se mora pristojno ponašati u društvu svih gena u istoj reci, bili oni prijateljski ili neprijateljski nastrojeni. Geni drugih vrsta su u drugoj reci i prema njima on uopšte ne mora da se ponaša lepo jer s njima ne deli ista tela.

Vrstu definiše to što svi njeni učesnici dele istu reku gena i to što svi geni jedne vrste moraju biti dobro pripremljeni da međusobno sarađuju. Nova vrsta se pojavljuje onda kada se postojeća vrsta podeli na dve. Reka gena se s vremenom račva.

Sa stanovišta gena, *specijacija* ili začetak nove vrste predstavlja zbogom zauvek. Posle kratkog perioda delimičnog razdvajanja dve reke kreću dalje sopstvenim tokovima ili biva da jedna ili druga usahnu na neplodnom tlu. Bezbedna u koritu svake reke, voda se meša i meša zahvaljujući seksualnoj rekombinaciji. Ali ta voda se nikada ne preliva preko obala da bi zagadila drugu reku. Nakon što su se vrste razdvojile, dva skupa gena više nisu saputnici. Oni se nikada više ne sreću u istim telima i više ne moraju da sarađuju međusobno. Između njih više nema mešanja, a to ovde bukvalno znači da tela – njihovi nosioci – više ne stupaju u međusobne seksualne kontakte.

Zašto bi se dve vrste razdvojile? Šta inicira konačni rastanak njihovih gena? Zbog čega se to reka cepa u dve grane koje se više nikad ne sreću? Detalji su kontroverzni, ali niko ne sumnja da je najvažniji razlog slučajno geografsko razdvajanje. Reka gena teče kroz vreme, ali se fizičko spajanje gena odvija u telima, a tela zauzimaju mesto u prostoru. Siva veverica iz Severne Amerike mogla bi se spariti sa sivim vevercem iz Engleske kada bi se sreli. Ali takav susret je sasvim neverovatan. Reku gena američke sive veverice okean širok pet hiljada kilometara delotvorno razdvaja od reke gena engleske sive veverice. Dve skupine gena u stvari nisu više saputnici, premda bi to mogle biti kad bi se ukazala prilika. One su jedna drugoj rekle zbogom, premda to još nije definitivno opraštanje. Međutim, ako razdvajanje potraje, recimo, sledećih nekoliko hiljada godina, dve reke će se toliko međusobno udaljiti da pojedinačne veverice, ako se susretnu, neće više moći da razmenjuju gene. Udaljavanje koje pominjemo nije prostorni pojam, već se odnosi na kompatibilnost.

Nešto slično ovome izvesno je uzrok ranijeg razdvajanja sive i crvene veverice. One se međusobno ne mogu pariti. Njihova staništa u Evropi geografski se delimično preklapaju i premda se susreću i verovatno povremeno glože oko lešnika i oraha, ako se i pare, nemaju plodno potomstvo. Njihove genetske reke su se previše udaljile jedna od druge i njihovi geni više ne sarađuju dobro u zajedničkom telu. Pre mnogo generacija su preci sivih i crvenih veverica bili iste individue. Međutim, geografski su se razdvojili – možda planinskim vencem ili vodom – i skupovi njihovih gena su počeli da se menjaju nezavisno. Geografska razdvojenost je iznedrila nekompatibilnost. Nekadašnji dobri saputnici su postali loši saputnici (ili bi to izašlo na videlo tek kad probaju da se spare). Loši saputnici s vremenom postaju još lošiji, sve do trenutka kada potpuno prestaju da budu saputnici, a tada je čas da se kaže konačno zbogom. Dve reke su razdvojene i osuđene da se sve više udaljuju jedna od druge. Ista logika važi i za mnogo ranije razdvajanje između, recimo, naših predaka i predaka slonova ili za razdvajanje predaka nojeva (koji su takođe naši preci) od predaka škorpija.

Danas postoji možda trideset miliona račvanja reke DNK – smatra se da toliko vrsta obitava na Zemlji. Takođe je procenjeno da preživele vrste predstavljaju oko jedan procenat svih vrsta koje su do sada živele. Iz toga sledi da se reka DNK granala oko tri milijarde puta. Današnjih trideset miliona njenih ogranaka su neopozivo razdvojeni. Mnogi su osuđeni na isušivanje jer većina vrsta izumire. Ako sledite trideset miliona reka (ogranke ću kratko nazivati rekama) u prošlost, utvrdićete da se one, jedna po jedna, spajaju s drugim rekama. Reka ljudskih

gena se spaja s rekom gena šimpanza otprilike u isto vreme kada to čini i reka gena gorila, pre nekih sedam miliona godina. Još nekoliko miliona godina pre toga reka gena našeg zajedničkog velikog afričkog majmuna spojila se s rekom gena orangutana. Još davnije, spojili smo se s rekom gena gibona – rekom koja se niz tok deli na brojne potočiće pojedinih vrsta gibona i sijamanga. Kako se vraćamo u prošlost, tako se naša genetska reka sjedinjuje s rekama koje su u svom donjem toku granaju na majmune Starog sveta, majmune Novog sveta i lemure s Madagaskara. Krenemo li još više unazad vidimo da se naša reka sjedinjuje s rekama iz kojih potiču druge glavne grupe sisara: glodari, mačke, slepi miševi, slonovi. Posle toga se susrećemo s rekama iz kojih potiču različite vrste reptila, ptica, amfibija, riba, beskičmenjaka.

Sada dolazimo do tačke gde treba malo da obuzdamo našu metaforu o reci. Kada razmišljamo o grananju od koga potiču svi sisari – nasuprot struji koja se odvaja, recimo, ka sivoj veverici – skloni smo da zamislimo nešto kao sliv reka Misisipi i Misuri. Na kraju krajeva, ogranak sisara je predodređen da se dalje deli i deli, sve dok ne proizvede sve sisare – od patuljastog bubojeda do slona, od krtice pod zemljom do majmuna u krošnji. Reka sisara treba da snabde toliko mnogo svojih važnih ogranaka, dakle, to mora biti silovita, moćna bujica? Ipak, takva slika je skroz pogrešna. Kada su se preci svih savremenih sisara odvojili od ostalih koji nisu sisari, taj događaj nije bio značajniji od bilo koje druge specijacije. On ne bi privukao posebnu pažnju bilo kog prirodnjaka iz tog vremena. Nov ogranak reke gena bi pre bio potočić koji udomljava sitna noćna bića, a ona se od

svojih ne-sisarskih rođaka razlikuju tek koliko siva veverica od crvene. Tek kada se s današnje pozicije osvrnemo, pretke sisara vidimo kao sisare, dok je u ono doba to mogla biti samo još jedna vrsta sisarima sličnih reptila koja se beznačajno razlikuje od možda desetina drugih malih, nosatih bubojeda – tek zaloga gigantskih dinosaurusu.

Ista nedramatičnost je pratila i ranija odvajanja velikih grupa životinja: kičmenjaka, mekušaca, ljuskara, insekata, prstenastih crva, pljosnatih crva, meduza i tako dalje. Kada se reka koja je vodila mekušcima (i drugima) odvojila od reke koja je vodila kičmenjacima (i drugima), dve populacije (verovatno crvolikih) bića bile su toliko slične da su se mogle međusobno pariti. To nisu činile isključivo zato što su bile slučajno razdvojene kakvom geografskom preprekom, možda kopnom koje razluči celovitu vodu. Niko ne bi mogao predvideti da je jedna od dve populacije predodređena za nastanak mekušaca, a druga za nastanak kičmenjaka jer su dve reke bile jedva razdvojene, a njihovi stanovnici se nisu mogli međusobno razlikovati.

Zoolozi dobro znaju ovu činjenicu, pa ipak biva da je zabore kada razmatraju stvarno velike grupe životinja, kao što su mekušci i kičmenjaci. Skloni su da smatraju razdvajanje glavnih grupa trenutnim događajem. Oni mogu zapasti u zabludu jer su odgajeni u skoro pobožnoj veri da svaki veliki ogranak životinjskog carstva sadrži nešto duboko jedinstveno, što se često označava nemačkom rečju *Bauplan*. Iako ta reč znači samo nacrt, ona je postala prihvaćen tehnički termin, i ja ću se prema njoj odnositi kao da je engleska, premda sam (na svoje iznenađenje) otkrio da nije uvršćena u najnovije izdanje Oksfordskog

rečnika engleskog jezika. (Pošto mi se ta reč dopada manje nego nekim mojim kolegama, priznajem da osećam *frisson* zbog *Schadenfreude* – radujem se što je nema; ove dve poslednje reči se *nalaze* u rečniku, što je dokaz da ne postoji sistematska predrasuda prema uvođenju tuđica.) U tehničkom smislu, bauplan se najčešće prevodi kao osnovni plan telesne građe. Ono osnovni (ili, da bi se naglasila temeljnost, zadržavanje na nemačkom *Bauplan*) stvara najviše štete i može da odvede zoologe u sasvim pogrešnom smeru.

Jedan zoolog je, na primer, izneo mišljenje da je evolucija u kambrijumskom periodu (pre oko pet-šest miliona godina) morala biti sasvim drugačija od evolucije u kasnija vremena. Poveo se ovom logikom: danas se pojavljuju samo nove vrste, dok su se u kambrijumskom periodu pojavljivale glavne grupe, kao što su mekušci i ljuskari. Najgora zablude! Čak i bića koja su toliko međusobno različita kao što su mekušci i ljuskari, prvobitno su predstavljala geografski razdvojenu populaciju iste vrste. Jedno vreme su se pripadnici dva dela populacije mogli međusobno pariti, da su se susretali, ali za to nije bilo prilike. Nakon miliona godina nezavisne evolucije oni su stekli osobine koje savremeni zoolozi, gledajući unazad, dele na osobine mekušaca i ljuskara. Te osobine su uzdignute na grandiozni pijedestal osnovnog plana telesne građe ili bauplana. Pa ipak su se glavni bauplanovi životinjskog carstva tek lagano odvajali od prvobitnog jedinstvenog plana.

Priznajem da postoji manje neslaganje, koje je u javnosti preuveličano, kad valja odrediti *koliko* je evolucija postepena ili skokovita. Ali niko, baš niko ne misli da je evolucija bila toliko

skokovita da je u jednom koraku mogla da izgradi čitav bauplan. Pomenuti autor, napisao je tvrdnju o kambrijumskom periodu 1958. godine. Danas bi samo nekoliko zoologa otvoreno prihvatilo takav stav, ali ga mnogi katkad prihvataju implicitno, rezonujući kao da su velike grupe životinja nastale spontano i odmah savršeno oblikovane, baš kao što je boginja Atena iskočila iz Zevsove glave, umesto kroz postupno razdvajanje predačke populacije izazvano slučajnom geografskom izolacijom.*

Bilo kako bilo, molekularno-biološka istraživanja su pokazala da su velike grupe životinja međusobno mnogo bliskije nego što smo mislili. Genetski kôd možete smatrati rečnikom u kome su šezdeset četiri reči jednoga jezika (šezdeset četiri moguća tripleta četvoroslovnog alfabeta) uparene s dvadeset jednom reči drugoga jezika (dvadeset amino-kiselina i znak interpunkcije). Šanse da se na odnos preslikavanja 64:21 slučajno naiđe još jednom, manje su od jedan na milion miliona miliona miliona miliona. Pa ipak je genetski kôd potpuno jednak kod svih životinja, biljaka i bakterija koje su ikada ispitivane. Sva zemaljska živa bića su zacelo potekla od jednog jedinog pretka. Niko se ne bi usudio da ovo ospori, ali se neke zapanjujuće bliske sličnosti između insekata i kičmenjaka, na primer, pojavljuju kada pažnju ne usmerimo na sâm kôd, već na detaljnu sekvencu genetskih informacija. Prilično komplikovan genetski mehanizam stoji iza plana segmentiranog tela insekata. Jedan neobično sličan komad genske mašinerije takođe je nađen kod sisara. S molekularnog stanovišta sve životinje su prilično bliske jedne

* Čitaoci bi trebalo da imaju ovo na umu kada uzmu u ruke *Čudesni život* – predivni osvrt Stivena Dž. Gulda na kambrijumsku faunu škrljaca Berdžes.

drugima, pa čak i biljkama. Morate da se vratite čak do bakterija da biste pronašli naše daleke rođake, pa čak i tada nalazite genetski kôd koji je identičan našem. Takva precizna izračunavanja ne mogu se vršiti s anatomijom bauplana ali mogu s genetskim kodom jer je genetski kôd strogo digitalan, a prste (engl. *digit*) lako možete da prebrojite. Reka gena je digitalna, pa moram da objasnim šta označava ovaj inženjerski izraz.

Inženjeri nedvosmisleno razlikuju digitalni i analogni kôd. Gramofoni i kasetofoni rade na principu analognog koda, a donedavno i skoro svi telefoni. U tehnologiji kompakt-diskova, računara i velikog dela savremenih telefonskih sistema koristi se digitalni kôd. U analognom telefonskom sistemu neprekidno varirajući pritisak vazduha (zvuk) pretvara se u odgovarajuće varirajući električni napon. Gramofon radi slično: pri kretanju gramofonske ploče, talasasti žlebovi na njoj izazivaju vibriranje igle, a kretanje igle se pretvara u analognu varirajući napon. Ovaj napon na drugom kraju žice izaziva vibriranje membrane slušalice ili zvučnika koja stvara talase pritiska u vazduhu i tako čujemo zabeleženi zvuk. Kôd je jednostavan i neposredan: električne fluktuacije su proporcionalne fluktuacijama pritiska u vazduhu. Kroza žicu, u određenim granicama, mogu da prođu svi mogući naponi, a za reprodukciju zvuka su važne razlike između njih.

Kod digitalnog telefona, kroza žicu prolaze samo dva moguća napona ili neki diskretan broj mogućih napona, npr. 8 ili 256. Informacija nije smeštena u samom naponu, već u obrascu njihovih diskretnih nivoa. To se naziva impulsno-kodna modulacija. Stvarni naponi će retko biti tačno jednaki svojim nominalnim

vrednostima (recimo, da ih ima osam), ali će ih prijemni uređaj zaokružiti na najbližu takvu vrednost, tako da će ono što izlazi iz njega biti savršen obrazac, čak i kada je prenos žicom loš. Treba samo da izaberete dovoljno razmaknute nominalne vrednosti napona tako da slučajna fluktuacija nikada ne zbuni prijemnik. To je velika prednost digitalnog koda i stoga se audio i video sistemi, a i celokupna informaciona tehnologija, sve više digitalizuju. U računarima se, naravno, koristi digitalni kôd za sve poslove. Zbog pogodnosti, to je u stvari binarni kôd – sastavljen samo od dva nivoa napona, umesto od 8 ili 256 nivoa.

Čak i kod digitalnog telefona zvuk koji ulazi u mikrofoni i onaj koji izlazi iz slušalice i dalje su analogne fluktuacije vazdušnog pritiska. Digitalna je informacija koja putuje od jednog do drugog telefona. Tu je potrebno uspostaviti izvestan program koji svake mikrosekunde pretvara analogne vrednosti u diskretne impulse – digitalno kodirane brojeve. Kada ubeđujete svog voljenog preko telefona, svaka nijansa, svaki drhtaj glasa, svaki strasni uzdah ili jecaj prenosi se preko žice isključivo u vidu brojeva. Ti brojevi vas mogu rasplakati – pod uslovom da se kodiraju i dekodiraju dovoljno brzo. Savremene elektronske centrale su toliko brze da se ceo razgovor može izdeliti u bezbroj kratkih vremenskih isečaka, onako kako šahovski velemaistor deli svoje vreme kada igra simultanku na dvadeset tabli. Tako se istom linijom mogu prenositi na hiljade telefonskih razgovora, naizgled istovremeno, pa ipak elektronski tako razdvojeni da se međusobno ne ometaju. Magistralni prenosnik podataka (danas to uglavnom nisu žice, već radio-farovi usmereni

s brda na brdo ili ka satelitu) predstavlja masivnu reku podataka. Međutim, zbog pomenutog ingenioznog elektronskog razdvajanja, to je u stvari hiljadu reka oivičenih naizgled istim obalama – slično sivim i crvenim vevericama koje se susreću u istoj šumi, ali nikada ne mešaju gene.

U inženjerskom svetu nedostaci analognih signala ne smetaju previše, sve dok se ne kopiraju ponovljeno. Snimak na traci može da šušti toliko slabo da to možda nećete ni primećiti – sve dok ne pojačate zvuk, pri čemu pojačavate i šuštanje i takođe uvodite nov šum. Ali ako napravite kopiju trake, pa zatim kopiju kopirane trake i tako nastavite, posle stotinak generacija od snimka će preostati samo šuštanje. Nešto slično ovome je predstavljalo problem u danima kada su svi telefoni bili analogni. Svaki telefonski signal slabi dok putuje dugom linijom i mora da se pojačava na približno svakih sto pedeset kilometara. U doba analognih signala ovo je bio uzrok smetnji, jer se u svakoj fazi pojačavanja proporcionalno pojačavao i pozadinski šum. I digitalni signali moraju se pojačavati. Međutim, iz razloga koje smo ranije naveli, to pojačavanje ne unosi dodatne greške: sve se može tako urediti da informacija prođe linijom potpuno neizmenjena, bez obzira na broj usputnih faza pojačavanja. Šum se ne pojačava čak ni na daljinama od više stotina kilometara.

Kada sam bio mali majka mi je objašnjavala da su nervne ćelije telefonske žice našeg tela. Samo, da li su linije analogne ili digitalne? Odgovor je da su zanimljiva mešavina i jednih i drugih. Nervna ćelija ne liči na telefonsku žicu, već pre na dugačku tanku cev kroz koju prolaze talasi hemijskih promena,

baš kao što sagoreva barutni fitilj – osim što nerv, za razliku od fitilja, brzo može da se oporavi i da propusti nov hemijski talas. Apsolutna veličina talasa (temperatura barutnog fitilja) može da varira na putu duž nerva, ali to nije važno. Sistem na to ne obraća pažnju, već samo prati da li je impuls tu ili nije – slično očekivanju dva diskretna nivoa napona kod digitalnog telefona. Do ove tačke, nervni sistem je digitalan, ali nervni impulsi se ne svrstavaju u bajtove, niti se kodiraju u diskretne brojeve. Ovde se jačina poruke (glasnoća zvuka, luminoznost svetla, možda i dubina emocija) kodira u učestalost impulsa. Inženjerima je to znano kao frekventno-impulsna modulacija, a ona je bila popularna pre nego što se prešlo na impulsno-kodnu modulaciju.

Učestalost prolaska impulsa je analogna veličina, ali su sami impulsi digitalni: oni ili postoje ili ne postoje – nema sredine. A nervni sistem od toga ima iste koristi kao i bilo koji drugi digitalni signal. Zbog načina na koji rade nervne ćelije postoje i ekvivalenti pojačavača, ne na svakih sto pedeset kilometara, već na svaki milimetar – osam je stotina pojačavačkih stanica između kičmene moždine i prstiju. Kada bi apsolutna jačina nervnog impulsa (sagorevanja barutnog fitilja) bila značajna, poruka se zbog izobličenja ne bi mogla prepoznati nakon prolaska kroz ruku, da ne pominjemo žirafin vrat. U svakoj fazi pojačavanja unela bi se dodatna slučajna greška, kao kada biste uzastopno osam stotina puta kopirali traku s prethodne kopije trake. Ili kada biste na fotokopir-aparatu pravili kopiju kopijine kopije... nakon osam stotina ponavljanja takvog postupka dobili biste list hartije sa sivom brljotinom. Digitalno kodiranje jedino je

rešenje za nervnu ćeliju i prirodno odabiranje ga je dosledno prihvatilo. Isto važi za gene.

Frensis Krika i Džejmsa Votsona, otkrivače molekularne strukture gena bi, verujem, trebalo slaviti bar isto onoliko stoleća kao Aristotela i Platona. Nobelove nagrade su im dodeljene za fiziologiju ili medicinu i to je u redu, ali je skoro trivijalno. Izraz revolucija koja teče možda je oksimoron, ali neće samo medicina trpeti, stalno iznova, revolucionarne preokrete kao direktan rezultat promene u mišljenju koju su dva mlada čoveka započela 1953. godine, već će to važiti i za naše celokupno poimanje života. Geni i genetske bolesti samo su vrh ledenog brega. U molekularnoj biologiji iz ere posle Votsona i Krika stvarno je revolucionarno to da je postala digitalna.

Nakon Votsona i Krika znamo da su sami geni, do najsitnijih detalja svoje unutrašnje strukture, dugi nizovi čisto digitalnih informacija. Štaviše, oni su potpuno digitalni, i to u strogom smislu baš kao računari i kompakt-diskovi – a ne na onaj način na koji bismo nervni sistem okarakterisali kao digitalan. Genetski kôd nije binaran kao kod računara, niti oktalan kao kod nekih telefona, već kvaternaran – sa četiri simbola. Mašinski kôd gena je neobično sličan računarskom. Kada izuzmemo razliku u žargonu, stranice časopisa iz molekularne biologije gotovo da se mogu čitati kao stranice računarskog časopisa. Između brojnih drugih posledica, ova digitalna revolucija u samoj srži života zadala je konačan smrtonosni udarac vitalizmu – verovanju da je živa materija fundamentalno različita od nežive. Sve do 1953. moglo se verovati da u živoj protoplazmi postoji nešto misteriozno što je u osnovi nedokučivo.

Sad više ne. Čak se ni filozofi, predisponirani za mehanistički pogled na život, nisu mogli nadati da će njihovi najluđi snovi biti tako potpuno ispunjeni.

Uz tehnologiju koja je od današnje samo malo naprednija može se zamisliti sledeći naučnofantastični scenario. Profesora Džima Kriksona su kidnapovali agenti mračne strane sile i prinudili ga da radi na njihovom najnovijem biološkom oružju. Da bi spasio civilizovani svet, profesor mora nekako da dostavi svojim vitalne informacije, ali otimači su mu uskratili sve normalne načine komuniciranja sa spoljnim svetom. No jedan je ostao. DNK kôd se sastoji od šezdeset četiri tripletna znaka, što je dovoljno za kodiranje velikih i malih slova engleskog alfabeta, deset cifara, razmaka i tačke. Profesor Krikson uzima virulentan soj virusa gripa s laboratorijske police i ugrađuje u njegov genom čitav tekst svoje poruke spoljnom svetu, na savršeno uobičenom engleskom jeziku. Istu poruku upisuje u genom više puta, umećući između kopija niz indikatora u obliku prvih deset prostih brojeva. Zatim sam sebe inficira virusom i počinje da kija u sobi punoj drugih osoba. Talas gripa se širi svetom i medicinske laboratorije u dalekim zemljama počinju da analiziraju genom virusa kako bi razvile vakcinu. Uskoro im postaje jasno da se u genomu ponavlja neobičan obrazac. Privučen sekvencom prostih brojeva – koja ne može nastati spontano – neko dolazi na ideju da primeni na genom tehnike razbijanja koda. Od tog trenutka poruka profesora Kriksona, napisana na čistom engleskom jeziku, lako se čita širom sveta.

Naš genetski sistem, koji je zajednički za sav živi svet na planeti, digitalan je u samoj svojoj suštini. U one delove DNK koda ispunjene otpadnim materijalom, to jest delove koje telo

ne koristi, barem ne na uobičajen način, možete s tačnošću do poslednje reči upisati čitav Novi zavet. Svaka ćelija vašeg tela sadrži ekvivalent šezdeset četiri ogromne trake s podacima, s koje se oni simultano očitavaju pomoću više glava za čitanje. Ove trake u svakoj ćeliji – hromozomi – sadrže iste informacije, ali glave za čitanje u ćelijama različitih vrsta pretražuju različite delove baze podataka radi svojih specifičnih ciljeva. Zbog toga se mišićne ćelije razlikuju od ćelija jetre. Ne postoji duhom vođena životna sila, nema pulsiranja, nadimanja i sleganja misteriozne protoplazmične sluzi. Život su samo bajtovi i bajtovi i opet, bajtovi digitalnih informacija.

Geni su čista informacija i mogu se šifrovati, ponovo šifrovati i dešifrovati bez degradacije ili promene značenja. Čista informacija se može kopirati i, pošto je digitalna, kopije su pouzdano visokog kvaliteta. DNK slova se kopiraju s tačnošću koja se meri s najboljim ostvarenjima savremene tehnologije. Ona se kopiraju kroz generacije, s dovoljno malo slučajnih grešaka koje omogućavaju i variranje. Unutar ovih varijacija, one kodirane informacije koje postaju brojnije, kada budu dešifrovane u telima i kada bude postupljeno po uputstvima koje one sadrže, očito će biti upravo one koje će nagoniti tela da čuvaju i prosleđuju te iste DNK poruke. Mi – a to znači, sav živi svet – predstavljamo mašine za preživljavanje, programirane da prosleđuju digitalnu bazu podataka koja je izvršila programiranje. Darwinizam se danas vidi kao opstanak preživelih, na nivou čistog digitalnog koda.

Kada zastanemo i osvrnemo se – pa, izgleda da se i nije moglo drugačije dogoditi. Može se zamisliti analogni genetski sistem.

Međutim, već smo videli šta se događa s analognom informacijom kada se sukcesivno kopira kroz generacije. To je igra pokvarenih telefona. Pojačavani telefonski sistemi, kopirane trake, fotokopije fotokopija – analogne signale toliko ugrožavaju kumulativne greške da se kopiranje valjano obavlja samo ako je broj generacija ograničen. Geni se, s druge strane, mogu samokopirati kroz desetine miliona generacija, a da se informacija koju nose praktično ne ošteti. Ako izuzmemo diskretne mutacije koje prirodno odabiranje ili isključuje ili čuva, darvinizam funkcioniše isključivo zato što je postupak kopiranja savršen. Samo je digitalni genetski sistem bio u stanju da održi darvinizam tokom eona geološkog vremena. Godina 1953, kada je otkrivena dvostruka zavojnica, neće se samo smatrati krajem mističnog i mračnjačkog shvatanja života, već će za sve zagovornike darvinizma biti godina u kojoj je predmet njihovog zanimanja konačno postao digitalan.

Reka čiste digitalne informacije koja veličanstveno teče kroz geološko vreme i deli se u tri milijarde ogranaka, predstavlja impresivnu sliku. Ali, gde ona odlaže prepoznatljive crte života? Kud se devaju tela, šake i stopala, oči i mozgovi i brkovi, lišće, stabla i korenje? Gde ostajemo mi i naši delovi? Jesmo li svi mi – životinje, biljke, praživotinje, gljivice i bakterije – samo obale između kojih protiču potočići digitalnih informacija? U jednom smislu, da – jesmo. Ali, kako sam naznačio, postoji tu i nešto više. Geni ne prave samo sopstvene kopije da bi ih prosledili generacijama. Oni svoje vreme stvarno provode u telima i utiču na oblik i ponašanje sukcesivnih tela u kojima obitavaju. I tela su važna.

Telo, recimo, polarnog medveda nije samo par rečnih obala za digitalnu maticu. Ono je i mašina čija složenost odgovara veličini medveda. Svi geni čitave populacije polarnih medveda predstavljaju kolektiv – dobro društvanje čiji pripadnici podstiču jedan drugog na zajedničkom putovanju kroz vreme. Međutim, ne provode svi oni sve vreme u društvu ostalih članova kolektiva: oni unutar kolektiva menjaju partnere. Kolektiv je definisan kao skup gena od kojih svaki može da susretne svaki drugi gen iz istog kolektiva (ali nijedan gen iz bilo kog od ostalih trideset miliona drugih kolektiva u svetu). Susret se uvek događa unutar ćelije tela polarnog medveda. A to telo nije pasivan kontejner za molekule DNK.

Najpre ukažimo da sâm broj ćelija, a svaka sadrži potpun skup gena, prevazilazi maštu: oko devet stotina miliona miliona za velikog medveda. Kada biste povezali sve ćelije jednog polarnog medveda u niz, on bi se protegao do Meseca i nazad. Ove ćelije se mogu razvrstati u nekoliko stotina tipova, nekoliko stotina tipova karakterističnih za sve sisare: mišićne ćelije, nervne ćelije, kostne ćelije, ćelije kože itd. Ćelije svakog od ovih tipova se okupljaju u tkiva: mišićno tkivo, kosti itd. Svi ovi tipovi ćelija sadrže genetska uputstva za pravljenje svih tipova, s tim što se u određenom tkivu uključuju (aktiviraju) samo odgovarajući geni. Zbog toga se ćelije tkiva razlikuju po obliku i veličini. Još je zanimljivije to što geni koji su uključeni u ćelijama određenog tkiva uzrokuju izrastanje ćelija u posebne oblike. Kostni nisu bezoblična masa tvrdog, krutog tkiva. Kostni imaju posebne oblike šupljih cevi, glava i čašica, kičmenih pršljenova i uzengija. Geni koji su uključeni u ćelijama programiraju ih

da se ponašaju kao da znaju gde se nalaze u odnosu na susedne ćelije, zbog čega oblikuju svoja tkiva u ušne školjke, srčane zaliske, očna sočiva i sfinktere.

Složenost organizma kao što je polarni medved višeslojna je. Telo je kompleksna zbirka precizno uobličениh organa, kao što su jetra, bubrezi, kosti. Svaki organ je takođe kompleks uobličен od posebnih tkiva čije gradivne blokove predstavljaju ćelije, često u slojevima i omotačima, ali i u masi. Na mikroskopskoj skali, svaka ćelija sadrži složenu unutrašnju strukturu izuvijanih membrana. Ove membrane i voda između njih predstavljaju pozornicu za odvijanje delikatnih hemijskih reakcija, brojnih i raznovrsnih. U hemijskim fabrikama, kao što su ICI ili Union Carbide, može se istovremeno odvijati više stotina različitih hemijskih reakcija. Te hemijske reakcije fizički razdvajaju zidovi reaktora, cevi itd. I u živoj ćeliji može se istovremeno odvijati sličan broj hemijskih reakcija. Pri tome, membrane ćelija igraju u izvesnoj meri ulogu stakla u laboratoriji, ali ta analogija nije baš dobra iz dva razloga. Najpre, iako se mnoge hemijske reakcije odvijaju između membrana, dosta ih se odvija i *unutar* samih membrana. Zatim, važniji je način na koji se pojedine reakcije međusobno razdvajaju. Svaku reakciju katalizuje enzim koji je specijalizovan samo za nju.

Enzim je vrlo veliki molekul čiji trodimenzionalni oblik ubrzava određenu vrstu hemijske reakcije obezbeđujući površinu na kojoj se ona povoljno odvija. Pošto je za biološke molekule najvažniji njihov trodimenzionalni oblik, enzim možemo poređati s velikom mašinskom alatkom, podešenom da serijski štancuje molekule određenog oblika. U svakoj ćeliji, prema tome,

istovremeno i zasebno može se odvijati više stotina hemijskih reakcija, na površinama molekula različitih enzima. Koje će se hemijske reakcije odvijati u određenoj ćeliji zavisi od toga kojih enzima ima u njoj u velikom broju. Svaki molekul enzima i njegov iznad svega važan oblik, sklapa se pod determinističkim uticajem određenog gena. Konkretno, tačna sekvenca više stotina kodiranih slova u genu određuje, pomoću skupa potpunog poznatih pravila (genetski kôd), sekvencu amino-kiselina u molekulu enzima. Molekul svakog enzima je linearan niz amino-kiselina, a svaki linearni niz amino-kiselina se spontano uvija u jedinstvenu i sasvim određenu trodimenzionalnu strukturu (sličnu čvoru), u kojoj delovi niza obrazuju bočne veze s drugim delovima niza. Tačna trodimenzionalna struktura ovog čvora je određena jednodimenzionalnom sekvencom amino-kiselina, dakle jednodimenzionalnom sekvencom kodiranih slova u genu. Shodno tome, uključeni geni određuju koje se hemijske reakcije odvijaju u ćeliji.

Šta, onda, određuje to koji su geni u ćeliji uključeni? Odgovor je: hemijske materije koje već postoje u ćeliji. Ovde ima nešto od onog paradoksa kokoška ili jaje, ali on nije nerešiv. To rešenje je u načelu veoma jednostavno, premda je komplikovano u detaljima. To rešenje je stručnjacima za računare poznato kao podizanje sistema (engl. *bootstrapping*). Kada sam šezdesetih godina počeo da se družim s računarima, svi programi su se morali prethodno učitavati s perforirane trake. (U američkim računarima iz tog doba koristile su se bušene kartice, ali je princip isti.) Pre nego što ste mogli učitati veliku traku s kojim ozbiljnim programom, morali ste da učitate u računar modul za njegovo učitavanje (engl.

bootstrap loader). Taj modul je imao samo jednu funkciju: da uputi računar kako da učitava papirne trake. Međutim – evo paradoksa kokoška ili jaje – kako je, pre svega, učitana traka s modulom? U savremene računare je ekvivalent pomenutog modula unapred ugrađen, ali u onim davnim danima morali ste zaigrati po prekidima računara na ritualno dosledan način. Ta aktivnost je govorila računaru kako da učitava prvi deo modula za učitavanje. Zatim ga je taj prvi učitani deo upućivao kako da učitava drugi deo modula itd. Nakon što je sukcesivno učitao ceo modul za učitavanje, računar je već naučio kako da učitava bilo koju perforiranu traku i konačno postao koristan.

Kada nastane embrion, jedinstvena ćelija (oplođeno jaje) deli se napola; zatim od njih nastaju četiri ćelije, pa osam ćelija itd. Za samo nekoliko desetina generacija broj proizvedenih ćelija narasta na bilione – takva je moć eksponencijalnog deljenja. Međutim, ako bi to bilo sve što se događa, dobili bismo bilione jednakih ćelija. Kako se one diferenciraju (da upotrebimo stručan izraz) u ćelije jetre, ćelije bubrega, mišićne ćelije itd., s različitim uključenim genima i različitim aktiviranim enzimima? Odgovor je: učitavanjem sistema. Sledi objašnjenje kako to funkcioniše. Iako jaje izgleda kao sfera, ono je, što se tiče svoje hemije, polarizovano, što znači da ima vrh i dno, a u mnogim slučajevima i prednju te zadnju stranu (pa zato i levu i desnu stranu). Ovakvo polarizovanje izazvali su gradijenti hemijskih sastojaka. Koncentracija nekih sastojaka se neprekidno povećava od prednje ka zadnjoj strani, a nekih drugih od vrha ka dnu jajeta. Ti rani gradijenti su prilično jednostavni, ali su dovoljni da uspostave prvu fazu operacije učitavanja.

Kada se jaje podelilo na, recimo, trideset dve ćelije – to jest nakon pet generacija – neke od te trideset dve ćelije sadrže natprosečnu koncentraciju hemikalija s vrha, a neke natprosečnu koncentraciju hemikalija s dna. Ćelije mogu biti neuravnotežene i po hemikalijama čiji je gradijent usmeren u pravcu napred-nazad. Te razlike su dovoljne da uključe različite gene u različitim ćelijama. Prema tome, u ćelijama iz različitih delova prvobitnog embriona nalaziće se različite kombinacije enzima. Stoga će se u različitim ćelijama nadalje uključivati drugačije kombinacije gena. Loze ćelija će se, dakle, razilaziti, umesto da ostanu identične svojim predačkim klonovima u embrionu.

Ovo razilaženje je potpuno drugačije od udaljavanja vrsta o kome smo ranije govorili. Razilaženje ćelija je programirano i predvidljivo do detalja, dok je udaljavanje vrsta uzgredan rezultat geografskih promena i zato nepredvidljivo. Štaviše, kada se vrste udaljuju jedna od druge, i geni se razilaze, što sam ja maštovito nazvao velikom zbogom. Kada se razilaze linije ćelija u embrionu, sve poprimaju iste gene. Međutim, različite ćelije dobijaju različite kombinacije hemijskih sastojaka koje uključuju različite kombinacije gena, a neki geni uključuju ili isključuju druge gene. I tako se učitavanje sistema nastavlja, sve dok ne dostignemo potpun repertoar vrsta ćelija.

Embrion se tokom razvoja ne deli samo na nekoliko stotina tipova ćelija, već trpi i elegantne dinamičke promene spoljnog i unutarnjeg oblika. Možda je najdramatičnija ona na početku: proces gastrulacija. Istaknuti embriolog Luis Volpert pomalo preterano izjavljuje: „Najvažniji trenuci vašeg života nisu ni rođenje, ni stupanje u brak, niti smrt, već gastrulacija”.

Tokom gastrulacije ugiba se šuplja lopta ćelija tako da obrazuje zdelu s unutarnjim zidom. Svaki razvoj embriona u životinjskom carstvu prolazi kroz suštinski isti proces gastrulacije. To je zajednički temelj svih mogućih embriologija. Ovde pominjem gastrulaciju samo kao posebno dramatičan primer kretanja čitavih slojeva ćelija, koje se često viđa u razvoju embriona, a slično je postupku u japanskom origamiju.

Na kraju virtuožno izvedene predstave stvaranja origami figure, nakon brojnih uvijanja i ispupčavanja, bubrenja i razvlačenja slojeva ćelija, posle dinamički orkestriranog diferencijalnog rasta delova embriona na račun drugih delova, posle deljenja u stotine hemijski i fizički specijalizovanih vrsta ćelija, kada ukupan broj ćelija dostigne bilione, konačni rezultat je – beba. Ali, ne, čak ni beba nije kraj, jer čitav razvitak jedinke – opet, uz pojavu da neki delovi brže rastu od drugih – kroz zrelo doba i starost, treba posmatrati samo kao produžetak istog procesa embrionalnog razvoja: ukupne embriologije.

Pojedinci se razlikuju zbog kvantitativnih razlika u detaljima njihove ukupne embriologije. Sloj ćelija raste nešto dalje pre nego što se uvije i rezultat je: šta? – orlovski nos a ne prćasti; ravni tabani, što vam može spasti život jer vas oslobađa služanja vojske; posebna konformacija lopatica koja vam daje šanse da dobro bacate koplje (ili bombe, odnosno lopte za bejzbol, zavisno od okolnosti). Ponekad individualne promene u origamiju ćelijskih slojeva imaju tragične posledice, kao kada se beba rodi s patrljcima umesto ruku i bez šaka. Posledice individualnih razlika koje se ne ispoljavaju u origamiju od ćelijskih slojeva, već čisto hemijski, mogu biti isto tako važne: ne

možete da varite mleko, imate predispozicije za homoseksualnost ili alergiju na kikiriki, ili vam je odvratna mango čiji vas ukus neodoljivo podseća na terpentin.

Embrionalni razvoj je vrlo složena fizička i hemijska aktivnost. Promena nekog detalja u bilo kojoj tački u njegovom toku, može kasnije izazvati značajne posledice. To i ne iznenađuje previše, kad se uzme u obzir kako se pokreće proces. Mnoge razlike u razvoju pojedinaca plod su promena u okruženju – nedostatka kiseonika ili izloženosti talidomidu, na primer. Za mnoge druge razlike treba zahvaliti razlikama u genima – ne samo izolovanim genima, već i interakciji između gena te interakciji s razlikama u okruženju. Takav komplikovan, kaleidoskopski, višestruko unutrašnje povezan i samoregulišući proces, kao što je embrionalni razvoj, istovremeno je robustan i osetljiv. Robustan je u tome što uspešno izlazi na kraj s mnogim potencijalnim promenama, proizvodeći živu bebu uprkos nepovoljnim okolnostima koje ponekad izgledaju nepremostive, a istovremeno je osetljiv po tome što ni dve jedinke, čak ni identični blizanci, nisu potpuno jednakih osobina.

A sada na poentu zbog koje sve ovo iznosimo. U meri u kojoj individualne razlike potiču od gena (što može biti mnogo ili malo), prirodno odabiranje može da podrži neke čudi embriološkog origamija ili njegove hemije, na račun drugih čudi tih procesa. Ukoliko je vaša bacačka ruka pod uticajem gena, prirodno odabiranje može da je podrži ili da je ne podrži. Ako mogućnost da nešto dobro bacite ima nekakvog, ma kako slabog efekta na verovatnoću da živite dovoljno dugo i imate decu, a ta vaša sposobnost zavisi od gena, ti geni će imati odgovarajuće

veću šansu da se probiju u sledeću generaciju. Bilo koji pojedinac može umreti zato što ni na koji način ne može da iskoristi svoju sposobnost bacanja. Međutim, gen koji teži da stvori pojedinca koji je bolji u bacanju onda kada je taj gen prisutan, nego kada je odsutan, naseliće mnoga tela, i dobrih i loših bacača, tokom mnogih generacija. Sa stanovišta određenog gena, ostali uzroci smrti će izvršiti ujednačavanje. Iz njegove perspektive postoji samo dugoročno uzdanje u reku DNK koja protiče kroz generacije, samo privremeno naseljujući određena tela i privremeno ih deleći sa saputničkim genima koji mogu biti uspešni ili neuspešni.

Reka, na dugi rok, postaje prepuna gena koji su dobri za preživljavanje iz raznoraznih razloga: zbog toga što poboljšavaju sposobnost bacanja koplja, zato što poboljšavaju sposobnost prepoznavanja otrova ili zbog bilo čega drugog. Geni koji u proseku nisu tako dobri za preživljavanje – zato što razvijaju sklonost ka astigmatizmu u njihovim sukcesivnim telima, koja su zbog toga manje uspešna kao bacači koplja, ili zato što sukcesivna tela prave manje privlačnim, pa se ona ređe pare – teže da nestanu iz reke gena. Sad se valja setiti onoga što smo ranije istakli: geni koji prežive u reci biće oni geni koji su dobri za preživljavanje u prosečnom okruženju vrste; možda najvažniji aspekt ovog prosečnog okruženja jesu ostali geni koje vrsta nosi – geni s kojima će po prilici morati da deli telo i drugi geni koji u istoj reci plivaju kroz geološko vreme.