

ĐAVOLOV KAPELAN

Dela Ričarda Dokinsa:

SEBIČNI GEN

PROŠIRENI FENOTIP

SLEPI ČASOVNIČAR

REKA IZ RAJA

USPON PLANINOM
NEVEROVATNOSTI

RASPLITANJE DUGE

ĐAVOLOV KAPELAN

PRIČE PREDAKA

ZABLUDA O BOGU

RIČARD DOKINS

ĐAVOLOV
KAPELAN

*Razmišljanja o nadi, lažima,
nauci i ljubavi*

Prevod
Ljubomir Zlatanović



Edicija *Dela Ričarda Dokinsa*
Knjiga 3

Naslov originala
A DEVIL'S CHAPLAIN

Copyright © 2003 by Richard Dawkins
Copyright © 2009 za srpsko izdanje, Heliks

Izdavač
Heliks

Za izdavača
Brankica Stojanović

Urednik edicije
Bojan Stojanović

Lektor
Vesna Đukić

Štampa
Artprint, Novi Sad

Tiraž
1000 primeraka

Prvo izdanje

Knjiga je složena
tipografskim pismom
Bitstream Charter

ISBN: 978-86-86059-05-5

Smederevo, 2009.

www.heliks.rs

SADRŽAJ

Uvod	1
1 Nauka i osećajnost	5
1.1 Đavolov kapelan	8
1.2 Šta je istina?	15
1.3 Praznine u umu	21
1.4 Nauka, genetika i etika: memorandum upućen Toniju Bleru	28
1.5 Suđenje pred porotom	41
1.6 Kristalna istina i kristalne kugle	46
1.7 Razgolićeni postmodernizam	52
1.8 Radost opasnog življenja: Sanderson od Aundla	60
2 U novoj svetlosti	69
2.1 U novoj svetlosti	71
2.2 Pobedonosni Darwin	87
2.3 Informacioni izazov	102
2.4 Geni nisu mi	117
2.5 Sin Murovog zakona	120
3 Zaraženi um	131
3.1 Kineska džunka i pokvareni telefoni	133
3.2 Virusi uma	143
3.3 Veliko približavanje	164
3.4 Doli i prazne glave	170
3.5 Vreme je da se suprotstavimo	174

4	Rekli su mi, Heraklite	181
4.1	Lament za Daglasom	183
4.2	Posmrtni govor za Dagleasa Adamsa	186
4.3	Posmrtni govor za V. D. Hamiltona	190
4.4	Zmijsko ulje	199
5	Čak i toskanski ratnici	209
5.1	Svetkovina u čast raznolikosti prirode	212
5.2	Umeće razvojnog	217
5.3	Halucigenija, vivaksija i prijatelji	228
5.4	Ljudski šovinizam i evolucionni napredak	232
5.5	Nedovršena prepiska s darvinistom teške kategorije	246
6	Svekolika Afrika i njena čudesa su u nama	253
6.1	Ekologija gena	255
6.2	Iz duše Afrike	258
6.3	Govorim o Africi i zlatnim danima	261
6.4	Heroji i preci	265
7	Molitva za moju kćerku	273
7.1	Dobri i loši razlozi za verovanje	274
	Napomene	281
	Indeks	288
	O autoru	301

Za Džulijet, na njen osamnaesti rođendan

UVOD

Ova knjiga je lični izbor članaka i predavanja, govora i razmišljanja, prikaza knjiga i predgovora, odavanja počasti i posmrtnih beseda koje sam objavio (ili u nekim slučajevima nisam objavio) tokom dvadeset pet godina. Od mnogih tema koje su ovde dotaknute, neke proističu iz darvinizma ili nauke uopšte, pojedine se tiču morala, religije, obrazovanja, pravde, ožalošćenosti, Afrike, istorije nauke, dok su druge sasvim lične – njih bi pokojni Karl Segan možda nazvao ljubavnim pismima nauci i racionalnosti.

Premda priznajem da je moje pisanje na mahove (sasvim opravdano) iritirajuće, sklon sam uverenju da je ono većim delom prožeto vedrinom, možda čak i duhovito. Tamo gde je strasno, ima razloga zbog kojih вреди biti strastan. Gde ima ljutnje, nadam se da je ona odmerena. Gde ima tuge, nadam se da ne prerasta u očaj već da je okrenuta ka budućnosti. Ali, pre svega, nauka je za mene izvor životne radosti i mislim da se to pokazuje i na stranicama ove knjige.

Knjiga je podeljena u sedam poglavlja, a eseje u njima je odabrala i priredila Lata Menon (Latha Menon), u bliskoj saradnji sa mnom. Iz Late izbija znalačka, školovana inteligencija, koju biste i očekivali od urednika svetskog izdanja enciklopedije *Enkarta* na engleskom jeziku, ali ovde se pokazala i kao nadahnuti priređivač antologije. Ja sam napisao uvode za svih sedam poglavlja, sa osvrtima na eseje koje je Lata izabrala i njihovu povezanost. Njen je zadatak bio težak, a mene ispujnjava divljenje prema njoj zbog tog sveobuhvatnog uvida u daleko veći broj mojih tekstova nego što je ovde objavljeno, kao i zbog umeća kojim je postigla sklad između eseja, prefinjeniji nego što sam pretpostavljao. Ali za ono što je izabrala, odgovornost je, naravno, moja.

Nemoguće je pobrojati sve ljude koji su mi pomogli u pisanju pojedinačnih eseja, jer se oni protežu na dvadeset pet godina. U nastajanju knjige u pomoć su mi pritekli Jan Vong (Yan Wong), Kristina De Blaz-Balštat (Christine DeBlase-Ballstadt), Majkl Dover (Michael Dover), Lora van Dam, (Laura van Dam), Ketrin Bredli (Catherine Bradley), Entoni Čitam (Anthony Cheetham) i, naravno, Lata Menon. Veliku zahvalnost dugujem i Čarlsu Simonjiju (Charles Simonyi), ne samo kao dobrotvoru. A moja supruga Lala Vord (Lalla Ward) i dalje me ohrabruje i pomaže mi svojim savetima i sluhom fino prilagođenim melodiji jezika.

Ričard Dokins

ĐAVOLOV KAPELAN

2

U NOVOJ SVETLOSTI

Naslov ovog poglavlja – i prvog eseja iz njega – citat je iz *Postanka vrsta*. Darwin je govorio o bacanju svetla na ljudsko poreklo, i te reči su se obistinile u njegovoj knjizi *Poreklo čoveka (Descent of Man)*, ali ja bih skrenuo pažnju na brojna druga svetla kojima su njegove ideje obasjale mnoge druge oblasti. To je, zapravo, bio rezervni naslov ove knjige. Prvi esej u ovom poglavlju, *U novoj svetlosti (2.1)*, predgovor je koji sam nedavno napisao za novo studentsko izdanje *Porekla čoveka*, koje je objavio Gibson Square Books. Dok sam pisao, uvideo sam da je Darwin bio dalekovidiji nego što sam isprva mislio.

Pobedonosni Darwin (2.2) bio je moj doprinos drugom simpozijumu *Čovek i zver (Man and Beast)*, održanom u Vašingtonu 1991, s podnaslovom „Darvinizam kao univerzalna istina“. Svoju frazu univerzalni darvinizam prvi put sam pomenuo 1982. na konferenciji u Kembridžu kojom je obeležen vek od Darwinove smrti. Darvinizam nije samo osnov života na ovoj planeti. Može se opravdano tvrditi da je on temelj samog života kao univerzalne pojave, ma gde se on zatekao. Ako je zaista tako, Darwinovo svetlo dopire dalje nego što je taj fini i skromni čovek mogao sanjati.

Tmurnom podzemlju kreacionističke propagande zaista bi koristilo takvo prosvetljenje. Budući da TV producenti imaju tako očiglednu moć u kreiranju programa i montaži, pravo je čudo što je retko zloupotrebljavaju. Tonija Bena (Tony Benn), veterana među socijalističkim poslanicima u parlamentu, bije glas da uvek uključuje sopstveni diktafon kad god ga intervjuišu, čim oseti moguću prljavu igru. Na svoje iznenađenje, ustanovio sam da meni retko kad zatreba ovako nešto, pošto me je samo jednom smišljeno obmanuo australski kreacionista. O tome kako me je ta sramotna priča navela da objavim esej *Informacioni izazov (2.3)*, govorim u samom eseju.

„Đavo, rođeni đavo, na čiju se prirodu nikakva ljudskost ne stiće“. Ma kako bi Šekspir morao biti zadovoljan da zna koliko se njegovih stihova odomaćilo

u svakodnevnom izražavanju, verujem da bi prezreo savremeno prekomerno isticanje klišea urođeno/stečeno. Zbog uznemirenja javnosti 1993. godine, izazvanog takozvanim gej genom na X hromozomu, dobio sam poziv iz lista *Daily Telegraph* da objasnim mitove o genetskom determinizmu. Tako je nastao esej *Geni nisu mi* (2.4).

Moj književni agent Džon Brokman (John Brockman) ima redak talenat: uspeva da ubedi svoje klijente da ostave sve i napišu tekstove za knjige koje on uređuje, iako bi im u drugim okolnostima savetovao da prihvate isplativiji posao. Laska im što su na popisu sa izuzetnim gostima, pa prolaze kroz vrata njegovog salona (<http://www.edge.org>), i ne stignu ni da se osvrnu a već rade poslednju proveru teksta pred štampu. *Sin Murovog zakona* (2.5) bio je moj futurološki prilog uobičajeno fascinantnom simpozijumu *Sledećih 50 godina* koji se održava na Internetu.

2.2

POBEDONOSNI DARVIN⁵⁵

Darvinizam kao univerzalna istina

Kada bi nas posetila superiorna bića iz drugog sunčevog sistema – moraju biti superiornija kako bi stigla do nas – kakvu bismo zajedničku temu za razgovor našli? Hoćemo li prevazići prepreke naprosto tako što ćemo savladati jezik onih drugih, ili će teme koje zanimaju predstavnike naših dveju kultura biti toliko različite da neće biti moguć ikakav ozbiljan razgovor? Malo je verovatno da će zvezdani putnici želeti da razgovaraju o mnogim intelektualnim temama koje nas zanimaju: o književnoj kritici, muzici, religiji ili politici. Šekspir neće značiti ništa onima koji nemaju ljudska iskustva i ljudske emocije, a ako oni imaju književnost ili umetnost, te oblasti bi nam bile odviše strane da bi uzbudile naša osećanja. Još dva mislioca često se pominju kao ravni Darwinu, premda sumnjam da bi naši posetioci bili mnogo zainteresovani da razgovaraju o Marksu ili Frojdu, osim možda kao o antropološkim kuriozitetima. Nema razloga da pretpostavimo kako radovi tih ljudi imaju veći značaj sem lokalnog, ograničenog, ljudskog, zemaljskog, postpleistocenskog (neki bi još dodali evropskog i muškog).

Matematičari i fizičari su nešto drugo. Našim gostima bi verovatno ovdašnji nivo razvoja bio prilično nizak, ali tu bismo bar bili na istom terenu. Složili bismo se u pogledu važnosti izvesnih pitanja o kosmosu, i gotovo sigurno bismo jednako odgovorili na mnoga od tih pitanja. Vodili bismo živ razgovor, čak iako bi većina pitanja dolazila s jedne strane, a većina odgovora s druge. Ako bismo razgovarali o razvoju naših kultura, naši posetioci bi sasvim sigurno s ponosom istakli, ma kako drevne, svoje ekvivalente Ajnštajnu i Njutnu, Planku i Hajzenbergu. Ali ne bi istakli ekvivalente Frojdu ili Marksu, kao što ni mi ne bismo, posećujući dosad neotkriveno pleme na čistini usred daleke

prašume, isticali ekvivalente naše civilizacije lokalnim prizivačima kiše ili vračevima. Ako se složimo da Frojdova i Marksova otkrića nisu univerzalna, to ne znači da umanjujemo njihova dostignuća na ovoj planeti.

A šta je s Darwinom? Hoće li naši gosti potegnuti svog Darvina kao jednog od svojih najvećih mislilaca svih vremena? Hoćemo li moći da s njima povedemo ozbiljan razgovor o evoluciji? Mislim da je odgovor pozitivan (osim ako je, kao što reče moja koleginica, njihov Darwin u ekspediciji, a mi smo njen Galapagos*). Darwinovo dostignuće, kao i Ajnštajново, univerzalno je i sjevremeno, dok je Marksovo ograničeno i prolazno. Neporecivo, Darwinovo *pitanje* je univerzalno gde god ima života. Živu materiju koju najpre treba objašnjavati, odlikuje tako nezamisliva složenost da usled toga nastaje zabluda kako je morala biti stvorena osmišljeno. Darwinovo pitanje, ili bolje rečeno, temeljno i najvažnije od brojnih Darwinovih pitanja, glasi: kako je moguć tako komplikovan „sklop“? Sva živa bića, ma gde u svemiru i u ma kom vremenu, izazivaju da se postavi to pitanje. Manje je očigledno da je Darwinov *odgovor* na zagonetku – kumulativna evolucija nenasumičnim preživljavanjem nasumičnih naslednih promena – univerzalan. Na prvi pogled, čini se da je Darwinov odgovor mogao biti valjan samo lokalno, samo za vrstu života koja se desila na našoj malenoj čistini usred kosmičke šume. Već sam prethodno obrazložio zašto nije tako,⁵⁶ otkud to da opšti oblik Darwinovog odgovora nije tek slučajno istinit za našu vrstu života, već je gotovo izvesno istinit za sav život svuda u kosmosu. Sada bih izložio, u najmanju ruku, skromniju tvrdnju, kako je Darwinovo pravo na besmrtnost bliže Ajnštajnovom kraju spektra nego Marksovom. Darwinizam je istinski važan u kosmosu.

Kad sam bio student, ranih šezdesetih godina, učili su nas da je, uprkos Darwinovom značaju u njegovo vreme, neodarvinizam toliko napredovao da se više teško može nazivati darvinizmom. Generacija studenata biologije iz doba moga oca, učila je iz merodavne knjige *Kratka istorija biologije*⁵⁷ (*Short History of Biology*), kako:

* Tako je moja prijateljica sročila svoju ideju. Šalu je pokvarila preterana politička savesnost korektora originalnog članka, koji je promenio „njen Galapagos“ u „njegov ili njen Galapagos“.

...borbu živih organizama koja vodi prirodnoj selekciji kroz preživljavanje najsposobnijih, danas prirodnjaci mnogo manje ističu nego što su to činili u godinama neposredno posle pojave Darwinove knjige. Međutim, u ono vreme to je bila izvanredno podsticajna ideja.

A generacija biologa pre njih mogla je pročitati reči Vilijama Bejtsona (William Bateson), verovatno vodećeg britanskog genetičara tog vremena:

Darvinu se okrećemo zbog njegovog neuporedivog skupa činjenica [ali]... za nas on više nije filozofski autoritet. Njegovu šemu evolucije čitamo kao što bismo čitali Lukrecijevu ili Lamarkovu... Većina nas sada vidi kako je masovna populaciona transformacija u neprimetnim fazama koje usmerava selekcija toliko neprimenljiva u stvarnosti da se možemo samo čuditi... očitom nedostatku uvida među sledbenicima takve tvrdnje.⁵⁸

Pa ipak, urednici ove knjige mogu da naruče članak pod nazivom „Pobedonosni Darwin“. Inače ne volim da pišem na temu koju su predložili drugi, ali ovaj naslov sam prihvatio bez rezerve. Čini mi se da je u poslednjem kvartalu 20. veka, Darwinov ugled među ozbiljnim biologima (nasuprot nebiolozima pod uticajem religijskih predrasuda) s pravom ostao onoliko visok koliko je to bio i u bilo koje doba posle njegove smrti. Slična priča, možda čak i s većim pomračenjem u prošlosti posle koga je usledila nedavna pobedonosna rehabilitacija, mogla bi se ispričati i o „drugoj Darwinovoj teoriji“, onoj o polnoj selekciji.*

Moglo bi se očekivati da će se vek i četvrt kasnije, sadašnja verzija njegove teorije donekle razlikovati od izvorne. Moderni darvinizam je darvinizam plus vajsmanizam plus fišerizam plus hamiltonizam (a reklo bi se i plus kimuraizam i još nekoliko *izama*). Ali kada čitam samog Darvina, uvek me začudi koliko savremeno zvuči. Imajući u vidu koliko je silno pogrešio u izuzetno važnom pitanju genetike, pokazivao je neobičan talenat da ispravno pojmi gotovo sve ostalo. Možda mi danas jesmo neodarvinisti, ali pišimo to *neo* s veoma malim slovom *n*! Naš neodarvinizam veoma je u duhu samog Darvina. Ako bi se Darwin danas pojavio, promene koje bi video u najvećem broju slučajeva bi,

* Videti esej „U novoj svetlosti“ (str. 71-86).

usuđujem se da kažem, odmah odobrio i pozdravio kao elegantne i očigledno ispravne odgovore na pitanja koja su njega mučila u ono vreme. Nakon saznanja da je evolucija promena *učestalosti* u fondu *čestičnih* naslednih elemenata, možda bi čak citirao šta je navodno izjavio T. H. Haksli kad je pročitao *Postanak vrsta*: „Stvarno je neverovatno glupo što se ja nisam toga setio!“*

Pomenuo sam Darvinov talenat da ispravno razume stvari, ali to očigledno može značiti ispravno s naše tačke gledišta. Zar ne bi trebalo da budemo dovoljno skromni i priznamo kako naše „ispravno“ može biti potpuno pogrešno u svetlu budućih generacija naučnika? Ne! Postoje slučajevi kada skromnost generacije može biti neprikladna, da ne kažem cepidlačka. Mi sada možemo tvrditi s punim pravom da teorija po kojoj se Zemlja okreće oko Sunca nije samo ispravna sada, već će biti ispravna i za sva buduća vremena, čak i ako ponovo oživi učenje o Zemlji kao ravnoj ploči i bude opšteprihvaćeno u nekom novom mračnom dobu ljudske istorije. Ne možemo izričito tvrditi da darvinizam pripada istoj kategoriji neporecivih istina. Još uvek mu se može suprotstaviti respektabilna opozicija, i ozbiljno se može raspravljati o tome da darvinizam ne mora zadržati svoj trenutno visok položaj u učenim umovima budućih generacija. Darvin je možda odneo pobjedu na kraju 20. veka, ali moramo priznati mogućnost da se možda otkriju novi dokazi koji će primorati naše potomke u 21. veku da odbace darvinizam, ili da ga izmene do neprepoznavanja. Postoji li ipak u darvinizmu kakva esencijalna srž, jezgro koje bi sam Darvin proglasio nezamenljivim srcem svoje teorije, a koje bismo mogli izdvojiti da u raspravama ostane neopozivo?

Za mene je *srž darvinizma* minimalna teorija da se evolucija odvija u adaptivno nenasumičnim smerovima nenasumičnog preživljavanja malih i nasumičnih naslednih promena. Posebno obratite pažnju na reči

* Od dve priče o Haksliju koje su prerasle u anegdote, mnogo više mi se dopada ova od one o takozvanom sporenju sa oksfordskim biskupom, Semom Vilberforsom (Sam Wilberforce). U Hakslijevoj razdraženosti što se sam nije setio tako jednostavne ideje, prisutno je poštenje dostojno divljenja. Za mene je dugo bila tajna zašto se neko tek u 19. veku toga dosetio. U poređenju s tom idejom, Arhimedova i Njutnova dostignuća deluju mnogo komplikovanije. Ali činjenica da niko *nije* razmišljao o prirodnoj selekciji pre 19. veka jasno pokazuje da ja nisam u pravu. Kao što je činjenica i to da je i danas mnogi ljudi ne razumeju.

malih i *adaptivno*. *Malo* znači da je evoluciono prilagođavanje postepeno, a začas ćemo videti zašto mora biti takvo. *Adaptivno* ne znači da sva evolucija počiva na prilagođavanju, već da je u srži darvinizma onaj deo evolucije koji je baš takav. Nema razloga za pretpostavku da su sve evolucione promene adaptivne.⁵⁹ Ali čak i da većina evolucionih promena nije adaptivna, neporecivo je da dovoljan broj evolucionih promena ima svojstvo prilagođavanja, a to ne treba posebno objašnjavati. Darvin je tako precizno objasnio upravo onaj deo evolucionih promena koji *jeste* adaptivan. Neadaptivna evolucija može ili ne mora biti fenomen na određenoj planeti (verovatno jeste na našoj, u obliku opsežnog uključivanja neutralnih mutacija), ali ona nije fenomen koji u nama budi žestoki poriv da tražimo objašnjenja. Adaptacije, naročito one složene, bude u nama takav snažan poriv da su tradicionalno postale jedan od glavnih motiva za verovanje u natprirodnog Tvorca. Upravo zato je adaptacija i bila krupan problem, vredan velikog rešenja koje je Darvin pružio.

R. A. Fišer⁶⁰ je razradio tvrdnje za mendelovsko zaključivanje iz fotelje, koje se nije pozivalo ni na kakve određene činjenice:

Krajnje je neobična sledeća činjenica: ukoliko bi se koji mislilac sredinom 19. veka poduhvatio konstruisanja teorije o čestičnom nasleđivanju, kao dela apstraktne i teorijske analize, nekoliko veoma jednostavnih pretpostavki navelo bi ga na to da načini sistem koji je identičan savremenoj šemi mendelovskog nasleđivanja.

Može li se slično tvrditi o neizbežnosti srži Darvinove teorije o evoluciji prirodnom selekcijom? Iako su i Darvin i Volas bili terenski prirodnjaci, skloni obilnoj upotrebi činjeničnih podataka kojima su podupirali svoju teoriju, možemo li sada, gledajući unazad, tvrditi da nije bilo potrebno zaploviti *Zečarom* na Galapagos i u Malajski arhipelag? Da li bi svaki mislilac, suočen s problemom koji je formulisan na pravi način, bio sposoban da pronade rešenje – srž darvinizma – a da se ne pridigne iz fotelje?

Srž darvinizma delom proističe gotovo automatski iz problema koji rešava, ukoliko taj problem izrazimo na određeni način, kao u matematičkoj pretrazi. U ogromnom matematičkom prostoru mogućih

organizama problem je naći onu sićušnu manjinu organizama koji su se adaptirali raspoloživoj okolini kako bi preživeli i razmnožavali se. I to Fišer izražava sa sebi svojstvenom nesumnjivom jasnoćom:

Smatra se da se organizam adaptirao određenoj situaciji, ili svim situacijama koje čine okruženje, samo ukoliko možemo zamisliti skup neznatno drugačijih situacija ili okruženja na koje bi ta životinja bila slabije prilagođena; i isto tako, samo utoliko ukoliko možemo zamisliti skup neznatno različitih organskih oblika koji bi bili slabije prilagođeni datom okruženju.

Zamislite košmarnu matematičku menažeriju s gotovo beskonačno velikim skupom životinjskih oblika koji se mogu sastaviti nasumičnim varijacijama svih gena u svim genomima u svim mogućim kombinacijama. Radi sažetosti, mada to ne zvuči kao matematički precizna fraza koju bi neko očekivao, neka to bude skup svih mogućih životinja (srećom, ovde razvijam argument reda veličine, a on ne zavisi od bročane preciznosti). Najveći broj članova ovog gadnog bestijarijuma nikada neće preći fazu razvoja jednoćelijskog organizma. Od onog veoma malog broja koji uspe da se rodi (izlegne, ili tome slično), većina će biti užasno izobličene nakaze koje će brzo umreti. Životinje koje zaista postoje, ili su ikada postojale, biće samo sićušni podskup skupa svih mogućih životinja. Uzgred, reč *životinja* koristim samo zato što je zgodna. Ona se svakako može zameniti rečima *biljka* ili *organizam*.

Zgodno je sada zamisliti skup svih mogućih životinja raspoređenih u višedimenzionalnom genskom krajoliku.* *Udaljenost* u tom krajoliku odnosi se na gensku udaljenost, broj genskih promena koje su neopходne kako bi se jedna životinja transformisala u drugu. Nije jasno kako bi neko zaista izračunao gensku udaljenost između bilo koje dve životinje (pošto nemaju sve životinje isti broj genetičkih lokusa); ali

* Mislim da ta zamisao o krajoliku, koju sam modifikovanu preuzeo od uvaženog američkog populacionog genetičara Sjuela Rajta (Sewall Wright), može biti korisna pri razjašnjavanju evolucije. Prvi put sam je upotrebio u knjizi *Slepi časovničar* i pozabavio se njome u dva poglavlja knjige *Uspon planinom neverovatnosti* (*Climbing Mount Improbable*), gde sam je nazvao „muzejom“ svih mogućih životinja. Muzej je naoko bolja reč od krajolika, zato što je trodimenzionalan, mada mi zapravo baratamo s mnogo više od tri dimenzije. Danijel Denet, u *Darvinovoj opasnoj ideji*, svoju verziju živopisno je nazvao *Mendelova biblioteka*.

ponoviću da ovaj argument ne zavisi od preciznosti, a intuitivno je očigledno šta znači kad se, na primer, kaže da je genska udaljenost između pacova i ježa veća nego genska udaljenost između pacova i miša. Ovde nastojim da postavim u istu višedimenzionalnu matricu mnogo veći broj životinja koje nikada nisu postojale. Uključujem tu one koje nisu mogle opstati, čak i da su postojale, kao i one koje su mogle opstati da su postojale, ali činjenica je da nisu postojale.

Mutacija je prelazak s jedne tačke krajolika na drugu, i to tumačena u najširem smislu kako bi obuhvatila promene velikih razmera u genetičkom sistemu i tačkaste mutacije na lokusima unutar postojećih genetičkih sistema. U načelu, uz dovoljno uspešan genetički inženjering – veštačke mutacije – moguće je pomeriti se s bilo koje tačke krajolika na bilo koju drugu. Postoji recept za transformaciju ljudskog genoma u genom nilskog konja ili u genom ma koje druge životinje, postojeće ili one koja se samo može zamisliti. Inače, to bi bio veoma veliki recept, s promenama mnogih gena, brisanjem mnogih gena, kopiranjem mnogih gena i radikalnom reorganizacijom genetičkog sistema. I pored toga, recept je u načelu moguće otkriti, pa bi njegovo usvajanje bilo ekvivalentno džinovskom skoku s jedne tačke na drugu, u našem matematičkom prostoru. U praksi, za život sposobne mutacije predstavljaju vrlo male korake po krajoliku: deca se tek neznatno razlikuju od roditelja iako bi, u principu, mogla da se razlikuju koliko i nilski konj od čoveka. U procesu evolucije, putanje u tom genetskom prostoru prelaze se korak po korak, a ne u velikim skokovima. Evolucija je, drugim rečima, postepena. Postoji opšti razlog zbog koga je tako i ja ću ga sada obrazložiti.

Čak i bez formalnog matematičkog pristupa, možemo izložiti izvesne statističke tvrdnje o našem krajoliku. Prvo, u krajoliku svih mogućih genetskih kombinacija i „organizama“ koji se iz njih mogu generisati, veoma je malo održivih organizama. „Koliko god da ima načina da se ostane u životu, uvek ih je mnogostruko više da se ne preživi.“⁶¹ Drugo, uzme li se u obzir bilo koja polazna tačka u krajoliku, vidi se sledeće: na mnogo načina se može postati neznatno drugačiji, ali se uvek na mnogostruko više načina može biti znatno drugačiji. Broj bliških suseda u krajoliku može biti veliki, ali je on bitno manji od broja

dalekih suseda. Dok razmatramo hipersfere sve većih razmera, broj proporcionalno udaljenijih genetskih suseda u tim sferama eksponencijalno raste i ubrzo postaje za praktične svrhe beskonačan.

Statistička priroda ovog argumenta ističe ironiju u tvrdnji, koju često potežu protivnici evolucije, kako teorija o evoluciji krši drugi zakon termodinamike, zakon o rastućoj entropiji ili haosu* unutar svakog zatvorenog sistema. Istina je sasvim drugačija. Ako izgleda da nešto krši zakon (mada kršenja nema), onda bi to bile činjenice,† a ne određeno objašnjenje tih činjenica! Darwinovsko objašnjenje tih činjenica u stvari je jedino postojano i pokazuje nam kako su one nastale bez kršenja zakona fizike. Zakon o rastućoj entropiji u svakom slučaju je tema zanimljivog nesporazuma na koji se vredi ukratko osvrnuti, jer je zaslužan za podsticanje pogrešne tvrdnje kako ideja o evoluciji krši zakon.

Drugi zakon termodinamike nastao je iz teorije o toplotnim mašinama,⁶² ali se onaj njegov oblik koji je relevantan za evolucionu argument može izneti uopštenijim statističkim terminima. Fizičar Willard Gibbs (Willard Gibbs) opisao je entropiju kao zbrkanost sistema. Zakon kaže da ukupna entropija sistema i njegovog okruženja neće opadati. Prepušten sam sebi, bez pomoći sa strane, svaki zatvoreni sistem (život nije zatvoren sistem) težiće da postane sve zbrkaniji i sve manje uređen. Mnogo je prigodnih analogija – koje su možda i više od analogije. Ako bibliotekar ne radi stalno, police će stalno biti sve neuređenije usled neizbežne verovatnoće, čak i male, da će članovi vraćati knjige na pogrešne police. Moramo dakle u sistemu angažovati marljivog bibliotekara spolja, koji će, nalik Maksvelovom demonu, metodično i energično nanovo uspostavljati red na policama.

Uobičajena greška o kojoj govorim jeste personifikacija drugog zakona termodinamike: kosmosu se pripisuje unutrašnji poriv ili težnja ka haosu, to jest progresivno stremljenje prema konačnoj nirvani u savršenom neredu. Uza sve ostalo, i ova je greška navela ljude da prihvate budalastu pomisao kako je evolucija tajanstveni izuzetak od pravila.

* Reč „haos“ ovde ima izvorno i kolokvijalno značenje, a ne tehničko značenje koje je u poslednje vreme poprimila.

† O funkcionalnoj složenosti života ili njegovom velikom „informacionom sadržaju“.

Greška se najjednostavnije može razotkriti ako se pozovemo na analogiju s bibliotekom. Kada govorimo da neuređena biblioteka s vremenom sve više teži haosu, onda ne mislimo kako se ona bliži tačno određenom stanju, kao da biblioteka ima nekakav daleki cilj. Baš naprotiv. Broj mogućih načina slaganja n knjiga na polici može se izračunati, i za svaku veliku biblioteku to je zaista golem broj. Od svih tih načina, samo jedan, ili mali broj njih, može biti priznat kao uređeno stanje. Samo o tome se radi. Daleko od toga da postoji nekakav tajanstveni poriv prema neredu, samo ima mnogo više mogućnosti slaganja koje prepoznamo kao nered nego onih koje prepoznamo kao red. Dakle, ako sistem odluta u prostor svih mogućih kombinacija – a ne preduzmu se naročiti bibliotekarski koraci – gotovo je sigurno da ćemo tu promenu doživeti kao povećanje nereda. U sadašnjem kontekstu evolucione biologije, adaptacija je ta bitna i naročita vrsta reda, stanje u kome je jedinka opremljena da preživi i razmnožava se.

Vraćajući se na opšti argument u prilog postepenosti, vidimo kako je pronalaženje održivih oblika života u svemiru među svim mogućim oblicima, slično potrazi za skromnim brojem igala u izvanredno velikom plastu sena. Veoma su mali izgledi da se naleti na iglu ako preduzmemo nasumični mutacioni skok na drugu lokaciju u našem višedimenzionalnom plastu sena. Sigurno se može reći da polazna tačka svakog višedimenzionalnog skoka mora biti održivi organizam – jedna od onih retkih i dragocenih igala u plastu sena. To tvrdimo zato što samo organizmi koji su dovoljno dobri da dožive reproduktivnu zrelost mogu imati bilo kakve potomke, uključujući i one mutirane. Pronaći održive oblike tela nastale usled nasumične mutacije, slično je kao tražiti iglu u plastu sena, ali pošto ste već pronašli jedan takav oblik, izvesno je da ćete enormno povećati izgleda da pronađete još jedan ako pretražujete neposrednu okolinu, nego ukoliko biste tražili na većoj udaljenosti.

Isto je i kada tražite usavršen oblika tela. Dok razmatramo sve manje mutacione skokove, smanjuje se i apsolutan broj odredišta, ali proporcionalno raste broj onih odredišta koja predstavljaju usavršavanje. Fišer je izneo elegantno jednostavan argument kako bi pokazao da

taj porast teži odnosu od 50% za veoma male mutacione promene.* Izgleda da je njegov argument neizbežan za svaku dimenziju varijacije koja se zasebno razmatra. Ne bih se bavio time može li se njegov precizan zaključak (50%) primeniti na višedimenzionalni slučaj, ali smer argumenta je neosporan. Što je veći skok kroz genetski prostor, to je manja mogućnost da će nastala promena biti održiva, a još je manja da će predstavljati usavršenje. Postupni hod, korak po korak, u blizini već pronađenih igala u plastu sena, izgleda da je jedini način za pronalaženje drugih i boljih igala. Adaptivna evolucija, uopšteno gledano, mora biti puzanje kroz genetski prostor, a ne niz skokova.

Ali, postoje li posebne okolnosti kada su makromutacije pripojene evoluciji? Makromutacije se svakako dešavaju u laboratoriji.† Naša teoretska razmatranja kažu samo toliko da bi *održive* makromutacije morale biti izuzetno ređe od održivih mikromutacija. Ali čak i ako su okolnosti u kojima su veoma retke velike saltacije održive i deo su evolucije, čak i ako su se desile samo jednom ili dvaput u istoriji neke loze još od prekambrijskog doba do danas, i to je dovoljno da se izmeni ceo evolutivni tok. Na primer, za mene je verovatno da se segmentacija pojavila u jednom makromutacionom skoku, jednom tokom istorije naših predaka kičmenjaka, i još jednom kod predaka zglavkara i člankovitih glista. Kad se to desilo, u svakoj od ove dve loze, nastupila je promena čitave klime u kojoj se odvijala obična kumulativna selekcija mikromutacija. Mora da je umnogome podsećalo na iznenadnu i pogubnu promenu spoljne klime. Baš kao što se loza posle užasnih gubitaka može oporaviti i prilagoditi katastrofalnoj promeni spoljne klime, tako bi se mogla, kroz postepenu mikromutacionu selekciju, prilagoditi katastrofalnoj makromutaciji koja je velika koliko i prva segmentacija.

U krajoliku svih mogućih životinja, naš primer podele segmentacije mogao bi da izgleda ovako. Divlji makromutacioni skok od savršeno održivog roditelja završava se u zabačenom delu plasta sena, daleko od

* On je koristio analogiju s postizanjem savršenog fokusa na mikroskopu. Verovatnoća da veoma mali okret objektiva bude u pravom smeru (čime se popravlja fokus) iznosi 50%. Veliki okret nužno će pogoršati stvari (čak i kada je u pravom smeru, prebaciće fokusnu tačku).

† Makromutacije ili saltacije, jesu mutacije velikih razmera. Poznata je pojava antenapedije (*antennapedia*) kod voćnih mušica. Mutiranim mušicama izrasta noga tamo gde bi trebalo da bude antena.

svake igle održivosti. Rođena je prva segmentirana životinja: nakaza, čudovište s takvim telesnim osobinama da uopšte ne može preživeti u novoj, segmentiranoj strukturi. Trebalo bi da umre. Ali desilo se da se skok u genetičkom prostoru poklopio sa skokom u geografskom prostoru. Segmentirano čudovište našlo se u netaknutom delu sveta gde je lako preživeti a konkurencija je slaba. Obična životinja koja se nađe na neobičnom mestu, recimo na drugom kontinentu, loše je prilagođena novim uslovima, ali može nekako da preživi. Kako nema konkurencije, preživeće dovoljan broj generacija potomaka te životinje i prilagodiće se nepoznatim uslovima kroz normalnu, kumulativnu prirodnu selekciju mikromutacija. Tako bi moglo biti i s našim segmentiranim čudovištem. Ono je jedva preživelo, a njegovi potomci su se prilagodili u običnoj mikromutacionoj kumulativnoj selekciji na potpuno nove uslove koje je nametnula makromutacija. Iako je makromutacioni skok bio daleko od svih igala u plastu sena, zbog nepostojanja konkurencije potomci čudovišta lagano su prokrcili put do najbliže igle. Po završetku kompenzacione evolucije na drugim genetskim lokusima, ispostavilo se da je telesni plan predstavljen tom najbližom iglom bio superioran nad nesegmentiranim telesnim planom predaka. Novi lokalni optimum, u čiju je blizinu loza divlje doskočila, na kraju se pokazao nadmoćnijim od lokalnog optimuma u kome je ona prethodno bila zarobljena.

Ovoj vrsti razmišljanja pribeći ćemo samo kao poslednjem utočištu. Tu je tvrdnja da su samo postepeni, sićušni koraci kroz genetski krajolik u skladu sa onom vrstom kumulativne evolucije u kojoj se može izgraditi složena i detaljna adaptacija. Mada je segmentacija, u našem primeru, na kraju postala nadmoćan telesni oblik, ona je počela kao katastrofa koju je trebalo izdržati, kao i klimatske ili vulkanske katastrofe u spoljnoj sredini. Prema načinu razmišljanja koji sam upravo izložio, segmentacija je uspela ne zato što joj je prirodna selekcija bila naklonjena, već zato što je prirodna selekcija našla kompenzacione načine opstanka *uprkos* segmentaciji. Činjenica da su na kraju isplivale prednosti segmentiranog telesnog plana, beznačajan je dodatak. Segmentirani telesni plan bio je ugrađen u evoluciju, ali je moguće da mu prirodna selekcija nikad nije davala prednost.

U svakom slučaju, postepenost je samo deo srži darvinizma. Vera u sveprisutnost postepene evolucije ne obavezuje nas da se priklonimo darvinističkoj prirodnoj selekciji kao upravljачkom mehanizmu koji vodi našu pretragu po genetskom prostoru. Veoma je moguće da je Motu Kimura u pravu kada insistira na tome da su evolucionni koraci kroz genetski prostor uglavnom neusmeravani. Putanja sačinjena od malih, postepenih koraka, više je nasumična nego što je usmerava selekcija. Ali to nije važno ako – iz navedenih razloga – obratimo pažnju na evoluciju kroz adaptaciju nasuprot evolucionim promenama *per se*. Kimura s pravom insistira* da njegova „neutralna teorija nije u suprotnosti sa omiljenim gledištem da evoluciju oblika i funkcija usmerava darvinistička selekcija“. Dalje, u svojoj teoriji

ne poriče ulogu prirodne selekcije u određivanju toka adaptivne evolucije, ali pretpostavlja da je samo minoran delić evolucionih promena DNK adaptivne prirode, dok ogromna većina fenotipski tihih molekularnih zamena ne utiče značajno na preživljavanje i razmnožavanje, nego se nasumično širi u vrstama.

Činjenice o prilagođavanju primoravaju nas na zaključak da evolucione putanje nisu uvek nasumične. Mora postojati neko nenasumično usmeravanje ka adaptivnim rešenjima, jer su adaptivna rešenja upravo nenasumična. Ni nasumična putanja, ni nasumična saltacija ne mogu same da obave posao. Ali, mora li mehanizam navođenja nužno biti darvinovski, s nenasumičnim preživljavanjem nasumičnih spontanih varijacija? Očigledna alternativna teorija postavlja svojevrstnu nenasumičnu, odnosno usmerenu *varijaciju*.

Nenasumično u ovom kontekstu znači usmereno ka adaptaciji. To ne znači da nema uzroka. Mutacije, naravno, izazivaju fizički događaji, na primer bombardovanje kosmičkim zracima. Kada ih nazivamo

* Možda je malo prejako reći da „insistira“. Pošto je profesor Kimura preminuo, navešćemo simpatičnu anegdotu koju je ispričao Džon Mejnard Smit (John Maynard Smith). Istina je da u Kimurinoj knjizi stoji kako prirodna selekcija mora biti uključena u adaptivnu evoluciju, ali prema Mejnardu Smitu, Kimura nije mogao sam da napiše tu rečenicu, već je zamolio prijatelja, uglednog američkog genetičara Džemsa Kroua (James Crow) da je napiše umesto njega. Reč je o Kimurinoj knjizi *Neutralna teorija molekularne evolucije (The Neutral Theory of Molecular Evolution, Cambridge, Cambridge University Press, 1983)*.

nasumičnim, mislimo da su one nasumične samo u odnosu na usavršavanja nastala adaptacijom.⁶³ Može se zato reći da je, što se logike tiče, nekakva teorija usmerenih varijacija jedina alternativa prirodnoj selekciji kao objašnjenju za adaptaciju. Očigledno, moguće su i kombinacije ove dve vrste teorija.

Ono što se danas pripisuje Lamarku, tipična je teorija usmerene varijacije. Obično se izražava kroz dva načela. Prvo, organizmi se usavršavaju tokom životnog veka prema načelu upotrebe i neupotrebe; na primer, rastu mišići koji rade dok se životinja upinje da dohvati određenu vrstu hrane, pa je životinja je sve bolje opremljena da obezbedi tu hranu u budućnosti. Drugo, stečene osobine – u ovom slučaju stečene usavršavanjem usled upotrebe – nasleđuju se, pa tako loza napreduje iz generacije u generaciju. Argumenti protiv lamarkovskih teorija obično su činjenični. Stečene osobine se, zapravo, ne nasleđuju. Iz toga proizlazi, da bi lamarkizam bio održiva teorija evolucije kada bi se stečene osobine nasleđivale, a to se često i eksplicitno iznosi. Ernst Majer⁶⁴ (*Ernst Mayr*), na primer, napisao je sledeće:

Kad bi se prihvatile Lamarkove premise, njegova teorija o adaptaciji bila bi legitimna isto kao i Darwinova. Nažalost, ispostavilo se da te premise nisu valjane.

Fransis Krik⁶⁵ (Francis Crick) pokazao je kako je svestan mogućnosti da se mogu dati i opšti argumenti *a priori*, kada je napisao:

Koliko znam, niko nije izneo opšte teorijske potvrde da bi takav mehanizam bio manje efikasan od prirodne selekcije.

Od tada sam ja izneo dva takva razloga, prateći argument da nasleđivanje stečenih osobina *u načelu* nije u skladu sa embriologijom kakvu danas poznajemo.⁶⁶

Prvo, stečena poboljšanja u načelu bi se mogla nasleđivati samo ukoliko bi embriologija bila *preformacionistička* a ne *epigenetička*. Preformacionistička embriologija je embriologija nacрта. Alternativa je embriologija recepta ili računarskog programa. Važna osobina embriologije nacрта je reverzibilnost. Ako imate kuću, možete da rekonstruišete njen nacrt na osnovu prostih pravila. Ali ako imate tortu, ne postoji niz

prostih pravila na osnovu kojih bi se rekonstruisao recept. Sva živa stvorenja na ovoj planeti rastu prema embriologiji recepta, a ne prema embriologiji nacрта. Pravila razvoja funkcionišu samo prema napred, kao pravila u receptu ili računarskom programu. Ne možete pregledati životinju i potom rekonstruisati njene gene. Stečene osobine su atributi životinje. Da bi se nasleđivali, životinja bi morala biti skenirana a njeni atributi reverzno upisani u gene. Možda postoje planete na kojima se životinje razvijaju prema embriologiji nacрта. Ako je tako, tamo bi mogle da se nasleđuju stečene osobine. Po takvoj tvrdnji, ako želite da pronađete lamarkovski oblik života, ne tražite ga uzalud na planetama gde se oblici života razvijaju epigenezom, a ne preformacionistički. Mislim da možda postoji opšti *a priori* argument protiv preformacionističke embriologije nacрта, ali ga još nisam uobličio.

Drugo, stečene osobine uglavnom nisu usavršenja. Ne postoji opšti razlog po kome bi trebalo da to budu, a upotreba i neupotreba ovde nije od velike koristi. U stvari, prema analogiji s habanjem mašina, mogli bismo očekivati da upotreba i neupotreba budu sasvim kontraproduktivne. Ako bi se stečene osobine tek tako nasleđivale, organizmi bi bili hodajući muzeji propadanja predaka, obeleženi njihovim bolestinama kao kljasti ostaci njihove patnje. Kako bi organizam trebalo da zna kojom reakcijom da odgovori na okruženje ne bi li se usavršio? Ako postoji manjina stečenih osobina koje jesu poboljšanja, organizam bi morao da ih selektuje i prenese na narednu generaciju, izbegavajući pri tome one mnogobrojnije stečene osobine koje su štetne. Selekcija ovde zapravo znači da se u sistem mora prošvercovati neki oblik darvinovskog procesa. Lamarkizam ne može da dejstvuje bez darvinovske osnove.

Treće, čak i kada bi postojala sredstva da se izabere koje stečene osobine treba da budu nasleđene a koje odbačene u sadašnjoj generaciji, načelo upotrebe i neupotrebe nije dovoljno moćno da oblikuje tako tanane i složene adaptacije kakve su nama znane. Na primer, ljudsko oko dobro funkcioniše zbog bezbrojnih cepidlačkih doterivanja detalja. Prirodna selekcija može fino doterati te adaptacije zato što svako usavršavanje, ma koliko bilo malo i duboko zakopano u unutrašnjoj arhitekturi, može neposredno uticati na preživljavanje i razmnožavanje.

Prema načelu upotrebe i neupotrebe, s druge strane, u principu se ne mogu desiti takva fina doterivanja, zato što ono počiva na grubom pravilu po kome neki deo treba da bude što veći kako ga životinja što više koristi. Takvo pravilo može da prilagodi kovačeve šake njegovom zanatu, ili žirafin vrat visokom drveću. Ali teško da može biti odgovorno za poboljšanje prozirnosti očnog sočiva i vreme reakcije otvora dužice oka. Odnos između upotrebe i veličine previše je labav da bismo ga označili kao razlog za skladnu adaptaciju.

Prethodna tri argumenta nazvaću argumentima univerzalnog darvinizma. Uveren sam da su Kriku bili potrebni argumenti te vrste, mada je sasvim drugo pitanje da li bi on ili bilo ko drugi prihvatio baš ta tri argumenta. Ako su ispravni, onda je pozicija darvinizma u njegovom najopštijem obliku izvanredno ojačana.

Pretpostavljam da drugi foteljaški argumenti o prirodi života po vascelom kosmosu, jači i otporniji od mojih, samo čekaju da ih otkriju oni koji su bolje opremljeni od mene. Ali ne mogu da zaboravim kako je Darwinov trijumf, mada je *mogao* biti izveden iz bilo koje fotelje u kosmosu, zapravo bio neočekivani rezultat njegovog petogodišnjeg putovanja uzduž i popreko baš ove planete.

2.3

INFORMACIONI IZAZOV⁶⁷

Septembra 1997. godine, dopustio sam jednoj australijskoj filmskoj ekipi da snima u mom domu u Oksfordu, ne naslućujući da je njihov cilj bila kreacionistička propaganda. Tokom sumnjivo amaterski rađenog intervjua, uputili su mi drzak izazov da navedem „primer genske mutacije ili evolutivnog procesa za koji se može reći da predstavlja porast informacija u genomu“. Pitanje bi na takav način postavio samo kreacionist, i u tom trenutku sam, zgranut, shvatio kako sam, nasamaren, odobrio intervju kreacionistima – što inače ne činim i to s dobrim razlozima.* Ljutito sam odbio da odgovorim na to pitanje i rekao im da isključe kameru. Pa ipak, na kraju sam popustio i dozvolio da nastave, pošto su me moljakali, govoreći da su potegli čak iz Australije samo zbog intervjua sa mnom. Iako je to bilo debelo preterivanje, pomislio sam kako bi s moje strane bilo uskogrudo da pocepam ugovor o emitovanju i isteram ih. Stoga sam popustio.

Moja darežljivost bila je nagrađena onako kako je mogao predvideti svako kome je poznata fundamentalistička taktika. Kada sam najzad, posle godinu dana, video film,† shvatio sam da je montiran tako da se stvori pogrešan utisak o tome kako sam ja *nesposoban* da odgovorim na pitanje o informacionom sadržaju.‡ Pošteno rečeno, možda to i nije bila sasvim planirana prevara kao što izgleda. Morate razumeti da ti ljudi zaista *veruju* kako se na njihovo pitanje *ne može* odgovoriti! Baš

* Pogledati „Nedovršena prepiska s darvinistom teške kategorije“ (str. 246–251).

† Producenti se nisu udostojili da mi pošalju kopiju: potpuno sam zaboravio na film dok mi jedan američki kolega nije skrenuo pažnju na njega.

‡ Pogledati Bari Vilijams (Barry Williams), „Razotkrivena kreacionistička prevara“ („Creationist deception exposed“), *Skeptik* 18 (*Skeptic*) (1998), 3, str. 7–10, o mojoj dugoj pauzi (dok sam odlučivao da li da ih izbacim ili ne), koju su oni prikazali kao oklevanje čoveka nesposobnog da odgovori na pitanje, posle čega sledi očigledno nejasan odgovor na sasvim drugačije pitanje.

onako jaderno kao što i izgleda, čitavo njihovo putovanje iz Australije svelo se na snimanje filma o tome kako evolucionista nije u stanju da im odgovori na to pitanje.

Osvrnem li se, vidim kako bi možda mudrije bilo da sam naprosto odgovorio na pitanje, kad su me već preveslali da ih pustim u kuću. Međutim, ja volim da me razumeju uvek kad otvorim usta – užasavam se zaslepljivanja ljudi naukom – a to nije bilo pitanje na koje se može odgovoriti u jednom dahu. Prvo treba objasniti tehničko značenje pojma informacija. Zatim, njegov značaj u evoluciji takođe je veoma složen – nije preterano teško razjasniti ali može da potraje. Umesto da se upuštam u dalje optužbe i rasprave o tome šta se desilo za vreme intervjua, pokušaću da tome konstruktivno pristupim, odgovarajući sada na to pitanje o informacionom izazovu, podrobno i opširno – a takav odgovor se i može dobiti u prikladnom članku.

Tehničku definiciju informacije uobličio je američki inženjer Klod Šenon (Claude Shannon), 1948. godine. Šenon, zaposlen u telefonskoj kompaniji *Bell*, ispitivao je kako može da meri informacije kao ekonomsku robu. Slanje poruka telefonskom linijom je skupo. Mnogo onoga što prolazi u poruci uopšte nije informacija nego je *redundantno*. Novac se može uštedeti ako se poruka snimi ali tako što se ukloni taj višak. Redundansa je drugi tehnički pojam koji je uveo Šenon, kao suprotnost informaciji. Obe definicije su matematičke, ali ih možemo rečima opisati zato što su intuitivne.* Redundansa je svaki deo poruke koji ne prenosi informaciju, bilo zato što je primaocu već poznat (ne iznenađuje ga), bilo zato što je ponavljanje drugih delova poruke. U rečenici: „Rover je pas iz pasmine pudlica“, reč pas je redundansa jer nam reč pudlica već govori da je Rover pas. Ekonomičan telegram ne bi sadržao tu reč pa bi zbog toga porastao informativni deo poruke. Rečenica:

* Važno je ne okriviti Šenona zbog mog verbalnog i intuitivnog načina izražavanja onoga što mislim da je suština njegove ideje. Čitaoci koji su i matematičari treba da odmah pogledaju original, C. Shannon i W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication* (University of Illinois Press, 1949). Uzgred rečeno, Klod Šenon je bio sklon maštovitim dosetkama. Jednom je napravio kutiju koja je spolja imala samo jedan prekidač. Kad se pritisne prekidač, poklopac kutije se lagano otvarao, pojavila bi se mehanička ruka koja je dovezala do prekidača i isključivala ga. Zatim se ruka povlačila i poklopac bi se zatvarao za njom. Artur Klark je jednom rekao: „Ima nečeg neizrecivo zlokobnog u napravi koja ne radi ništa – baš ništa – osim što isključuje samu sebe.“

„DŽFK petak večer; let BE Konkord; čekaj me“, nosi istu informaciju kao i mnogo duže i suvišnije: „Stižem na aerodrom Džon F. Kenedi u petak uveče; molim te, sačekaj Konkord Britiš Ervejza“. Jasno da je kratka telegrafska poruka jeftinija (mada bi primalac imao malo problema da je dešifruje – redundansa ima svojih vrlina, ako ostavimo po strani ekonomičnost). Šenon je želeo da matematički izrazi zamisao da se svaka poruka može podeliti na *informaciju* (koju vredi platiti), *redundansu* (koja može, uz ekonomsku dobit, biti obrisana iz poruke jer je primalac ionako u stanju da je rekonstruiše), i *šum* (koji je samo slučajni otpad).

Poruka: „U Oksfordu je padala kiša svakog dana ove nedelje“, nosi relativno malo informacija, zato što ne iznenađuje primaoca. S druge strane: „U Sahari je padala kiša svakog dana ove nedelje“, bila bi poruka visoko informativnog sadržaja, vrednog da se slanje i preplati. Šenon je želeo da označi ovaj smisao informativnog sadržaja kao „vrednost iznenađenja“. On je povezan s drugim smislom – „onim koji se ne ponavlja u drugim delovima poruke“ – zato što ponavljanja slabe moć iznenađenja. Zapazite da je Šenonova definicija količine informacija nezavisna od toga jesu li one istinite. Mera koju je on pronašao inženjerska je i intuitivno zadovoljavajuća. Procenimo, predložio je on, primačevu neznanje ili neizvesnost *pre* prijema poruke i uporedimo ih s primačevim preostalim neznanjem *posle* prijema poruke. Količina smanjenja neznanja predstavlja informacioni sadržaj. Šenonova jedinica informacije je *bit*, skraćunica za *binary digit* (binarna cifra). Jedan bit je količina informacija dovoljna da prepolovi prethodnu primačevu neizvesnost, ma kako ona velika bila (čitaoci matematičari primetiće da je, shodno rečenom, bit logaritamska mera).

U praksi, prvo treba naći način kako da se izmeri prethodna neizvesnost – ona koja se smanjuje s pristizanjem informacije. Za naročitu vrstu jednostavne poruke, to se lako postiže kad se primeni verovatnoća. Na primer, budući otac posmatra rođenje svog deteta kroz prozor. Kako ne može da vidi detalje, dogovorio se sa bolničarkom da ona pokaže ružičasti karton ako je devojčica, a plavi ako je dečak. Koliko informacija se prenese kada, recimo, bolničarka mahne ružičastim kartonom

presrećnom ocu? Odgovor glasi jedan *bit* – prethodna neizvesnost je prepolovljena. Otac zna da je beba rođena, i njegova neizvesnost se svodi na dve mogućnosti – dečak ili devojčica – a one su (za svrhu ove diskusije) podjednako moguće. Ružičasti karton *prepolovljuje* očevu prethodnu neizvesnost s dve mogućnosti na jednu (devojčica). Ako babica ne bi pokazala ružičasti karton, nego bi iz sale izašao lekar, stegao ruku ocu i rekao mu: „Čestitam, stari moj, oduševljen sam što ću vam prvi saopštiti da ste dobili kćer“, informacija prenesena porukom od 14 reči i dalje bi bila samo jedan bit.

Računarska informacija sastoji se od niza nula i jedinica. Postoje samo dve mogućnosti, tako da svako 0 ili 1 sadrži jedan bit. Kapacitet memorije računara, ili skladišni kapacitet diska ili trake, često se meri u bitovima, a to je ukupan broj nula i jedinica koje se tu mogu upisati. Za neke svrhe, zgodnije jedinice mere jesu bajt (8 bitova), kilobajt (1000 bitova), megabajt (milion bajtova) ili gigabajt (1000 miliona bajtova).^{*} Te jedinice odnose se na ukupan raspoloživi kapacitet. To je maksimalna količina informacija koje uređaj može da uskladišti. Stvarna količina uskladištenih informacija je nešto drugo. Kapacitet mog čvrstog diska je 4,2 gigabajta. Od toga se 1,4 gigabajta trenutno koristi za čuvanje informacija. Ali čak ni to nije pravi informacioni sadržaj diska u šenonovskom smislu. Istinski informacioni sadržaj je manji, zbog toga što se informacije mogu ekonomičnije skladištiti. Pravi informacioni sadržaj možete naslutiti ukoliko koristite neki od onih genijalnih programa za komprimovanje kao što je Stuffit. On traži redundansu u sekvenci nula i jedinica, a zatim je u velikoj meri izbacuje tako što ih ponovo kodira – uklanja internu predvidljivost. Maksimum informacionog sadržaja bio bi postignut (u praksi verovatno nikada) samo ako bi nas svaka jedinica i nula podjednako iznenađivale. Sada

^{*} Ove zaokružene cifre samo su približne vrednosti u decimalnom sistemu. U svetu računara standardni metrički prefiksi kilo-, giga- itd. pozajmljeni su od najbližeg pogodnog stepena broja 2. Zato kilobajt nije 1000 bajtova, već 2^{10} , ili 1024 bajta: megabajt nije milion bajtova, već 2^{20} ili 1 048 576 bajtova. Da nas je evolucija obdabila sa 8 ili 16 prstiju, umesto sa 10, računari su možda mogli biti izmišljeni vek ranije. Teoretski, mogli bismo i sada odlučiti da deca uče oktalanu aritmetiku umesto decimalne. Voleo bih da se to može, ali uviđam da bi ogromni kratkoročni troškovi prelaska na nov sistem prevagnuli nad nesumnjivim dugoročnim koristima od promene. Za početak, svi bismo morali ponovo da naučimo tablicu množenja.

se podaci pre masovnog prenosa Internetom rutinski komprimuju kako bi se umanjila redundansa.*

To je valjana ekonomičnost. Ali s druge strane, takođe je dobra ideja zadržati izvesnu redundansu u porukama kako bi se lakše ispravljale greške. Ako se desi greška u poruci u kojoj uopšte nema redundanse, ne postoji način da se rekonstruiše namera. Računarski kodovi često sadrže namerno redundantne paritetne bitove koji su korisni pri otkrivanju grešaka. I DNK ima raznovrsne procedure za ispravljanje grešaka koje se oslanjaju na redundansu. Kad budem prešao na priču o genomima, vratiću se na razlikovanje ova tri pojma: ukupan kapacitet informacija, iskorišćen kapacitet informacija i istinski informacioni sadržaj.

Šenon je uvideo da je svaku informaciju moguće prevesti u drugi informacioni medij, ma šta ona značila, bila istinita ili lažna, i bez obzira na fizički medij kojim se prenosi. Veliki biolog Dž. B. S. Holdejn (J. B. S. Haldane) iskoristio je Šenonovu teoriju da izračuna broj bitova informacije koju pčela radilica prenosi ostalim pčelama u košnici kada ih pokretima navodi na mesto gde je izvor hrane (oko tri bita da objasni smer do hrane i još tri bita za udaljenost). Nedavno sam izračunao, u istim jedinicama, da moram izdvojiti 120 megabita memorije na svom prenosnom računaru kako bih snimio trijumfalnu uvertiru u *Tako je govorio Zaratustra*, Riharda Štrausa (muzička tema iz filma „Odiseja 2001“), koju sam želeo da pustim usred predavanja o evoluciji. Šenonova ekonomija omogućava vam da izračunate koliko će vas modemskeg vremena koštati da kompletan tekst knjige dostavite elektronskom poštom izdavaču u drugoj državi. Pedeset godina posle Šenona, ideja o informaciji kao robi koja se može meriti i razmenjivati poput novca ili energije, dobila je priliku da se pokaže.

DNK nosi informaciju na način veoma sličan računaru. Ako bismo hteli, mogli bismo da izmerimo i kapacitet genoma u bitovima. DNK

* Moćna primena ovog aspekta informacione teorije ogleda se u ideji Horasa Barloua (Horace Barlow) da su naši čulni sistemi povezani kako bi uklonili ogromne količine redundanse pre no što prenesu svoje poruke mozgu. Jedan način da se ovo uradi jeste da se upozori na *promenu* u svetu (što bi matematičari nazvali diferencijacijom), umesto da se neprestano izveštava o trenutnom stanju sveta (što ima visoku redundansu jer se stanje ne menja brzo i nasumično). Ideju Horasa Barloua razmotrio sam u *Rasplitanju duge* (London, Penguin, 1998; Boston, Houghton Mifflin, 1998).

ne koristi binarni kôd, već kvartarni. Jedinica informacije u računaru može biti 1 ili 0, a jedinica u DNK može biti T, A, C ili G. Ako vam kažem da je određena lokacija u DNK sekvenci T, koliko je informacija preneto od mene ka vama? Izmerimo najpre prethodnu neizvesnost. Koliko mogućnosti postoji pre nego što stigne poruka T? Četiri. Koliko mogućnosti ostaje pošto je stigla? Jedna. Dakle, mogli biste pomisliti da prenesena informacija ima četiri bita, ali u stvari ih ima dva. Evo zašto (ako pretpostavimo da su sva četiri slova podjednako moguća, kao i četiri znaka u špilu karata). Setite se da Šenonovo merenje pokazuje *najekonomičniji* način da se prenose poruka. Mislite o tome kao o broju pitanja na koja treba odgovoriti sa da/ne, kako biste početnu neizvesnost s četiri mogućnosti sveli na jedan izvestan odgovor, pod pretpostavkom da ste svoja pitanja planirali na *najekonomičniji* način. „Nalazi li se tajanstveno slovo pre slova D u abecedi?“* Ne. To sužava izbor na T ili G, i sad nam treba samo još jedno pitanje da rešimo stvar. Dakle, ovom metodom merenja, svako „slovo“ iz DNK ima informacijski kapacitet od dva bita.

Kad god se prethodna primaočeva neizvesnost može izraziti brojem podjednako mogućih opcija N , informacijski sadržaj poruke koji sužava izbor između tih opcija na jednu, jeste $\log_2 N$ (stepen na koji se 2 mora podići kako bi se dobio broj opcija N). Ako izaberete bilo koju kartu iz običnog špila, iskaz o identitetu karte nosi $\log_2 52$, ili 5,7 bitova informacija. Drugim rečima, kad se ima u vidu veliki broj mogućih varijanti da se stigne do konačnog odgovora, bilo bi potrebno u proseku 5,7 da/ne pitanja da se pogodi koja je to karta, pod uslovom da se pitanja postavljaju na najekonomičniji način. Prvim dvama pitanjima mogao bi se utvrditi znak (Je li crvena? Je li karo?); preostala tri ili četiri pitanja sukcesivno bi delila i smanjivala špil (Je li sedmica ili veća? itd.), dok se na kraju ne naiđe na odabranu kartu. Kad je prethodna neizvesnost mešavina opcija koje nisu podjednako verovatne, Šenonova formula postaje nešto složeniji ponderisani prosek, ali je u osnovi slična. Uzgred, Šenonov ponderisani prosek ista je formula koju su fizičari

* Hemičaru bi bilo prirodnije da pita: „Je li to pirimidin?“, ali tako se ne bi prenela suština mojih reči. Samo je *slučajno* istina da se četiri slova u DNK abecedi prirodno poklapaju s dve hemijske porodice, purinima i pirimidinima.

koristili još od 19. veka za entropiju. Ovo ima zanimljive implikacije, ali ja se ovde neću baviti njima.*

Ovo je dovoljno za upoznavanje s poreklom teorije informacija. Ta me je teorija dugo fascinirala i tokom godina upotrebio sam je u nekoliko svojih istraživačkih radova. Razmislimo sada kako bismo je mogli primeniti da postavimo pitanje da li se informacioni sadržaj u genomu uvećava tokom evolucije. Prvo, setimo se da postoji razlika između tri pojma: ukupnog kapaciteta informacija, iskorišćenog kapaciteta informacija i istinskog informacionog sadržaja uskladištenog na najekonomičniji način. Ukupan kapacitet informacija ljudskog genoma meri se u gigabitovima. Kod česte crevne bakterije *ešerihije koli* (*Escherichia coli*), meri se u megabitovima. Kao sve životinje, i mi smo potekli od predaka koje bismo, da su nam danas na raspolaganju za proučavanje, klasifikovali kao bakterije. Dakle, tokom milijardi godina evolucije od doba kad je taj predak živeo, informacioni kapacitet našeg genoma uvećao se možda i za tri reda veličine (stepena broja deset) – oko hiljadu puta. Ta činjenica je sasvim logična i utešna po ljudsko dostojanstvo.

Treba li onda ljudsko dostojanstvo da vređa činjenica što veliki vodenjak (*Triturus cristatus*) ima genom kapaciteta procenjenog na 40 gigabita, još red veličine više od ljudskog genoma? Ne, zato što se, u svakom slučaju, najveći deo kapaciteta genoma bilo koje životinje ne koristi za skladištenje korisnih informacija. Mnogo je nefunkcionalnih pseudogena (videti dalje) i puno besmislica koje se ponavljaju, korisnih za istraživače u oblasti sudske medicine, ali koje ne mogu da se prevedu u protein u živim ćelijama. Veliki vodenjak ima veći „čvrsti disk“ od nas, ali pošto najveći deo ni njihovog ni našeg čvrsta diska nije iskorišćen, ovo ne bi trebalo da nas naročito pogađa. Vrste srodne vodenjaku imaju mnogo manje genome. Kreacionisti bi mogli da razmisle o tome zašto se Tvorac tako ćudljivo i sa omalovažavanjem poigrao s veličinama genoma vodenjakâ. Sa evolucionističkog stanovišta, objašnjenje je jednostavno.†

* Ekolozi takođe koriste istu formulu kao indeks raznolikosti.

† Moj predlog (*Sebični Gen*, 1976) da višak DNK parazitira, kasnije su preuzeli i razvili drugi pod zgodnim nazivom „sebični DNK“. Pogledati *Sebični Gen*, treće izdanje (Heliks, 2008).

Očigledno, ukupan informacioni kapacitet genoma jako varira među živim bićima, i verovatno se mnogo menjao tokom evolucije, pretpostavljam u oba smera. Gubici genetskog materijala nazivaju se *delecije*. Novi geni se javljaju pri raznovrsnim načinima dupliranja. Dobra ilustracija za ovo je hemoglobin, složeni molekul proteina koji prenosi kiseonik u krvi.

Hemoglobin odrasle osobe zapravo je složen od četiri lanca proteina nazvanih globini, koji su svezani jedan oko drugog. Kad se detaljno pogledaju njihove sekvence, vidi se da su četiri globinska lanca umnogome srodni, ali nisu identični. Dva od njih nazivaju se alfa globini (svaki lanac je sastavljen od 141 amino-kiseline), a dva su beta globini (sastavljeni od 146 amino-kiselina). Genetički kod za alfa globine je na hromozomu 11; kod za beta globine je na hromozomu 16. Na svakom od ovih hromozoma postoji skupina globinskih gena raspoređenih u nizu, prepletena s nešto otpadnog DNK. Alfa skupina na hromozomu 11 sastoji se od sedam globinskih gena. Četiri od njih su pseudogeni, verzije gena za alfa globine koje su onesposobile greške u nizu, pa se ne prevode u proteine. Dva su pravi alfa globini koji koriste odrasle osobe. Poslednji se zove zeta i koristi ga samo embrion. Slično tome, beta skupina na hromozomu 16 ima šest gena od kojih su neki onesposobljeni a jedan koristi samo embrion. Hemoglobin odrasle osobe, kao što smo videli, sadrži dva alfa i dva beta lanca.

Zanemarimo svu tu složenost. Evo fascinantne činjenice. Pažljiva analiza slovo po slovo pokazuje da su ove različite vrste globinskih gena doslovno srodnici, doslovno članovi porodice. Ali ti dalji srodnici i dalje koegzistiraju unutar našeg genoma, i genoma svih kičmenjaka. Na nivou celih organizama, svi kičmenjaci su takođe naši srodnici. Evoluciono stablo kičmenjaka takođe je i nama znano porodično stablo, na kome grananja predstavljaju nastanak novih vrsta – razdvajanje vrsta na parove vrsta-kćeri. Ali još jedno porodično stablo zauzima istu vremensku skalu, a njegove grane ne predstavljaju nastanak vrsta već događaje duplikacije gena unutar genoma.

Bar nešto preko desetak različitih globina unutar vas, potomci su drevnog globinskog gena koji se duplirao u dalekom pretku pre oko pola milijarde godina, posle čega su obe kopije ostale u genomu. Tako su te

dve kopije ostale u različitim delovima genoma svih životinja potomaka. Jedna kopija je određena da pokrene nastanak alfa skupine (na onome što će kasnije postati hromozom 11 u našem genomu), a druga beta skupine (na hromozomu 16). Tokom eona, usledila su nova dupliranja (nesumnjivo i neke delecije). Pre oko 400 miliona godina, predački alfa gen ponovo se duplirao, ali su dve kopije ostale bliski susedi u skupini na istom hromozomu. Jedan od njih je bio predodređen da postane zeta, koji koriste embrioni, a drugi da postane gen alfa globina koji koriste odrasle osobe (druge grane su se razvile u pomenute nefunkcionalne pseudogene). Slično se dešavalo i duž beta grane familije, ali dupliranja su se odigrala u drugim trenucima geološke istorije.

Evo jedne podjednako fascinantne činjenice. Ako imamo u vidu činjenicu da su se alfa i beta skupina jedna od druge odvojile pre 500 miliona godina, jasno je da se podela neće prikazati samo u ljudskom genomu – to jest, nećemo samo mi imati razdvojene alfa i beta gene u genomu. Trebalo bi da vidimo podelu u genomu i kod bilo kojih sisara, ptica, reptila, vodozemaca i riba, pošto je naš i njihov zajednički predak živeo pre manje od 500 miliona godina. U svakom sprovedenom istraživanju, to očekivanje pokazivalo se kao tačno. Ako tražimo kičmenjaka koji, kao i mi, nema to drevno alfa/beta razdvajanje, najviše što se možemo nadati je da taj kičmenjak bude riba bez vilica, slična zmijuljici, jer su to naši najudaljeniji srodnici među preživelim kičmenjacima čiji je zajednički predak sa ostalim kičmenjacima dovoljno star da je tek posle njega nastupilo alfa/beta razdvajanje. Naravno, ribe bez vilice jedini su poznati kičmenjaci bez alfa/beta podele.

Udvajanje gena unutar genoma ima sličan istorijski uticaj kao udvajanje vrsta (*specijacija*) u filogenezi. Odgovorno je za genetsku raznovrsnost isto kao što je specijacija odgovorna za filogenetsku raznovrsnost. Počevši od jednog univerzalnog pretka, niz grananja na nove vrste doveo je do veličanstvene raznovrsnosti života, da bi se naposljetku razvile glavne grane živog sveta i stotine miliona raznorodnih vrsta koje su hodile Zemljom. Sličan niz grananja, ali unutar genoma – udvajanja gena – obuhvatio je široku i raznoliku populaciju skupina gena koji čine savremeni genom.

Priča o globinima samo je jedna među mnogima. Udvajanja gena i delecije dešavale su se s vremena na vreme unutar genoma. Ta sredstva, i njima slična, omogućavaju da genom „raste“ tokom evolucije. Ali pomislite na razliku između ukupnog kapaciteta genoma i iskorišćenog kapaciteta. Setite se da nisu svi globinski geni iskorišćeni. Neki od njih, kao teta u alfa skupini globinskog gena, jesu pseudogeni, prepoznatljiviji srodnici funkcionalnih gena u istim genomima, ali se nikada ne prevode na akcioni jezik proteina. Ono što važi za globine, važi i za većinu drugih gena. Genomi su preplavljeni nefunkcionalnim pseudogenima, neispravnim duplikatima funkcionalnih gena koji ne rade ništa dok njihovi funkcionalni srodnici (toj reči čak ne trebaju navodnici) nastavljaju s poslom u drugom delu istog genoma. A ima još mnogo delova DNK koji čak i ne zaslužuju da ih zovemo pseudogenima. I oni su izvedeni udvajanjem, ali ne udvajanjem funkcionalnih gena. Sastoje se od više kopija otpada, „ponavljanja parova“ i drugih besmislica koje bi mogle biti korisne u sudskoj medicini, ali u telu se ni za šta ne koriste. I ovde bi kreacionisti morali da ozbiljno porazmisle o tome zašto bi se Tvorac mučio da zatrpia genome neprevodivim pseudogenima i ponavljanjem otpadnih delova DNK.

Možemo li izmeriti informacioni kapacitet onog dela genoma koji se zaista koristi? Možemo ga makar proceniti. U ljudskom genomu, on iznosi oko 2% – znatno manje od onog dela mog čvrstog diska koji sam popunio otkad sam ga kupio. Verovatno je ta cifra kod velikog vodenjaka još manja, ali ne znam je li izmerena. U svakom slučaju, ne smemo se izleteti sa šovinističkom idejom da bi ljudski genom trebalo odnekud da ima najveću DNK bazu podataka zbog toga što smo mi tako čudesna bića. Veliki evolucionari biolog Džordž K. Vilijams (George C. Williams) ukazao je da je životinjama sa složenim životnim ciklusima neophodno kodiranje ne bi li razvile sve faze životnog ciklusa, a za to imaju samo jedan genom. Genom leptira mora da sadrži kompletnu informaciju za stvaranje gusenice, ali i za razvoj leptira. Ovčiji metilj ima šest različitih faza u svom životnom ciklusu, a svaka je specijalizovana za različit način života. Ne bi trebalo da nas pogodi ako se pokaže da ovi metilji imaju veći genom nego mi (mada ga, zapravo, nemaju).

Takođe zapamtite da čak i ukupan kapacitet genoma koji se zaista koristi još uvek nije isto što i istinski informacioni sadržaj u šenonovskom smislu. Istinski informacioni sadržaj jeste ono što preostane kada se redundansa istisne iz poruke pomoću teoretskog ekvivalenta programa Stuffit. Čak postoje izvesni virusi koji izgleda pribegavaju nekoj vrsti komprimovanja kao s programom Stuffit. Oni koriste činjenicu da se RNK kôd čita u tripletima (u tim virusima nema DNK). Postoji okvir koji se kreće duž RNK niza i očitava po tri slova istovremeno. U normalnim okolnostima, ako okvir počne da očitava na pogrešnom mestu (kao u takozvanim mutacijama s pomerenim očitavanjem), očigledno nastaje potpuna besmislica: tripleti koji se očitavaju, u raskoraku su sa onim smislenim. Ali ovi sjajni virusi iskorišćavaju baš to pomerenje očitavanja. Oni dobijaju dve poruke po ceni jedne, tako što ugrađuju potpuno drugačiju poruku u isti niz slova pri pomerenom očitavanju. U načelu, tako možete dobiti i tri poruke po ceni jedne, ali ne znam za takve primere.

Jedna je stvar proceniti ukupan informacioni kapacitet genoma i iskorišćeni kapacitet genoma, ali mnogo je teže proceniti istinski informacioni sadržaj u šenonovskom smislu. Bilo bi nam verovatno najbolje da zaboravimo na sâm genom i pogledamo njegov rezultat, fenotip, funkcionalno telo životinje ili biljke. Godine 1951, Dž. V. S. Pringl (J. W. S. Pringle), koji je kasnije bio moj profesor na Oksfordu, predložio je da se primene merenja informacija šenonovskog tipa kako bi se procenila kompleksnost. Pringl je želeo da matematički izrazi kompleksnost u *bitovima*, ali odavno sam zaključio kako je i sledeća verbalna forma pogodna da se njome obrazloži njegova ideja.

Mi intuitivno naslućujemo da je, recimo, jastog kompleksniji (napredniji, neki bi čak rekli evoluciono razvijeniji) od neke druge životinje, možda stonoge. Možemo li nešto *izmeriti* kako bismo potvrdili ili opovrgnuli svoju intuiciju? Približna procena informacionog sadržaja oba tela, a da ga ne pretvorimo u bitove, može se napraviti na sledeći način. Zamislite da pišete knjigu o jastogu. Napišite onda još jednu knjigu opisujući stonogu do istog nivoa detalja. Podelite broj reči u jednoj knjizi s brojem reči u drugoj, i imate približnu procenu relativnog informacionog sadržaja u jastogu i stonogi. Važno je naglasiti da obe knjige

opisuju životinje „do istog nivoa detalja“. Očigledno, ako stonogu opišemo do nivoa ćelija, a u opisu jastoga se držimo grubih anatomskih crta, ispašće da stonoga ima prednost.

Ako test uradimo pošteno, kladim se da će knjiga o jastogu biti opširnija od one o stonozi. To je jednostavan argument uverljivosti koji ide ovako. Obe životinje sastavljene su od segmenata – modula telesne arhitekture koji su u osnovi slični jedan drugom, poređani jedan za drugim kao vagoni u kompoziciji voza. Segmenti stonoge su uglavnom međusobno identični. Segmenti jastoga, iako u osnovi slede isti plan (svaki ima nervnu gangliju, par dodataka i tako dalje), uglavnom se razlikuju jedan od drugog. Knjiga o stonozi imala bi jedno poglavlje i u njemu bi bio opis tipičnog segmenta, praćen frazom „Ponoviti n puta“, gde je n broj segmenata. Knjiga o jastogu morala bi da ima različito poglavlje za svaki segment. Ovo nije baš pošteno prema stonozi, čiji se prednji i zadnji segment poprilično razlikuju od ostalih segmenata. Ali kad bi se neko pomučio da sprovede eksperiment, kladio bih se da bi se informacioni sadržaj jastoga pokazao znatno veći od informacionog sadržaja stonoge.

Poređenje jastoga i stonoge nije baš naročito bitno u kontekstu evolucije, pošto niko ne smatra da su se jastozi razvili od stonoga. Očigledno, nijedna savremena životinja nije se razvila od druge savremene životinje. Međutim, svaki par savremenih životinja imao je poslednjeg zajedničkog pretka koji je živio u izvesnom trenutku geološke istorije, a taj trenutak se, u načelu, može otkriti. Gotovo sva evolucija odigrala se u dalekoj prošlosti, što otežava njeno detaljno proučavanje. Ali možemo koristiti misaoni eksperiment s dužinom knjige kako bismo se saglasili u vezi s tim šta bi *značilo* postaviti pitanje o uvećanju informacionog sadržaja tokom evolucije, kad bismo imali životinju pretka koju bismo mogli da proučimo.

Odgovor je u praksi složen i protivrečan, povezan sa žustrom raspravom o tome je li evolucija uopšteno progresivna. Među onima sam koji se zalažu za ograničeni oblik pozitivnog odgovora. Moj kolega Stiven Džej Guld (Stephen Jay Gould) sklon je da prihvati negativan odgovor.* Sumnjam da iko može poreći da postoji širok sveobuhvatan trend ka povećanom informacionom sadržaju tokom ljudske evolucije od naših

* Pogledati „Ljudski šovinizam i evolucion napredak“ (str. 232–245).

udaljenih bakterijskih predaka – šta god da se pri tome meri: telesni informacioni sadržaj, ukupan informacioni kapacitet genoma, iskorišćen kapacitet genoma ili istinski informacioni sadržaj genoma (komprimovan kao programom Stuffit). Međutim, ljudi bi se mogli sporiti o dva važna pitanja: prvo, da li se takva sklonost može uočiti u svim evolucionim lozama, ili samo u većini (na primer, u evoluciji parazita često se uočava smanjenje telesne složenosti, jer paraziti bolje prolaze ako su jednostavni); drugo, ako i ima lozâ koje pokazuju jasan opšti dugoročni trend, on je toliko sapet mnogobrojnim obrtima i obrtima obrta u kraćim rokovima, da se time podriva sama ideja o napretku. Ovde nije mesto za razrešavanje te zanimljive kontroverze. Na obe strane stoje cenjeni biolozi i iznose dobre argumente.

Uzgred, pobornici evolucije usmerene „intelligentnim dizajnom“, morali bi biti duboko privrženi stanovištu da se informacioni sadržaj povećava tokom evolucije. Čak i da informacije potiču od Boga, ili možda *naročito* zbog toga, sadržaj bi se morao povećati, a to povećanje trebalo bi da se vidi u genomu.

Možda najvažnija lekcija koju treba da naučimo od Pringla, kazuje da je informacioni sadržaj biološkog sistema drugi naziv za njegovu složenost. Zato je kreacionistički izazov kojim smo počeli podjednako neutemeljen kao i standardni izazov da se objasni na koji način biološka složenost može da evoluirâ od jednostavnijih predaka, a ja sam tom odgovoru posvetio tri knjige te ih ovde neću prepričavati. Pokazuje se da informacioni izazov nije ništa drugo do stara priča: „Kako se može razviti nešto tako kompleksno kao što je oko?“ Samo je sada zaodenuta u pomodni matematički jezik – verovatno u pokušaju da nas obrlati. Ili su možda oni koji to pitaju već obrlatili sami sebe, pa ne shvataju da je to isto ono staro pitanje na koje se već temeljno odgovorilo.

Dopustite mi da se na kraju osvrnem na drugi način na koji se može posmatrati povećanje informacionog sadržaja tokom evolucije. Sada ćemo se iz široke slike evolucionâ istorije prebaciti na pojedinsti iz prirodne selekcije. Kad razmišljate o samoj prirodnoj selekciji, vidite da je ona sužavanje od širokog početnog polja mogućih opcija ka užem polju stvarno izabranâ opcija. Nasumična genetska greška (mutacija), seksualna rekombinacija i migraciono mešanje, čine široko

polje genetskih varijacija: raspoloživih opcija. Mutacija nije uvećanje istinskog informacionog sadržaja, nego obrnuto, jer mutacija, po šenonovskoj analogiji, doprinosi povećanju prethodne neizvesnosti. A sada dolazimo do prirodne selekcije koja umanjuje prethodnu neizvesnost, te su stoga, u šenonovskom smislu, informacije njen doprinos genskom fondu. U svakoj generaciji, prirodna selekcija uklanja manje uspešne gene iz fonda, tako da preostali genski fond predstavlja suženi podskup. Sužavanje je nenasumično, u smeru poboljšanja, pri čemu se poboljšanje u darvinovskom smislu definiše kao poboljšanje sposobnosti preživljavanja i razmnožavanja. Naravno, ukupan raspon varijacije opet se uvećava u svakoj generaciji, usled novih mutacija i drugih vrsta varijacija. Ali i dalje ostaje istina da prirodna selekcija sužava početno široko polje mogućnosti, uključujući i one najneuspešnije, na usko polje uspešnih mogućnosti. To je analogno definiciji informacije od koje smo krenuli: informacija je ono što omogućava sužavanje prethodne neizvesnosti (početnog raspona mogućnosti) do kasnije izvesnosti (uspešnog izbora među prethodnim mogućnostima). Prema ovoj analogiji, prirodna selekcija je *po definiciji* proces u kome se informacije unose u genski fond naredne generacije.

Ako prirodna selekcija unosi informacije u genski fond, o čemu su te informacije? To su informacije o tome kako preživeti. Tačnije, o tome kako preživeti i razmnožiti se u uslovima u kojima su živele prethodne generacije. Genetski savet predaka biće pogrešan za onoliko koliko se savremeni uslovi razlikuju od uslova pod kojima su živeli preci. U ekstremnim slučajevima, vrsta može i izumreti. Ukoliko se pak uslovi za sadašnju generaciju ne razlikuju mnogo od uslova za prošle generacije, informacija ubačena u savremene genome iz proteklih generacija biće *korisna*. Informacije iz doba predaka mogu se shvatiti kao uputstvo za preživljavanje u sadašnjosti: kao porodični sveznadar sa savetima predaka o tome kako preživeti danas. Treba nam samo malo poetske slobode kako bismo rekli da su informacije ubačene u savremene genome kroz prirodnu selekciju, zapravo informacije o drevnim sredinama u kojima su preživljavali naši preci.

Ideja da se informacija prenosi s generacija predaka u genske fondove potomaka, jedna je od tema moje knjige *Rasplitanje duge*. Tu misao

razvijam u celom poglavlju, „Genetska knjiga mrtvih“, tako da je neću ovde ponavljati. Samo bih naglasio dve stvari. Prvo, informacije predaka o tome kako preživeti, prima genski fond vrste kao celine, a ne genom bilo koje pojedinačne jedinke. Genomi određenih jedinki slučajni su uzorci iz trenutnog genskog fonda, odabrani nasumično, seksualnom rekombinacijom. Drugo, mi smo povlašćeni da presrećemo informacije ako to želimo i „čitamo“ tela životinja, ili čak njihove gene, kao šifrovani opis svetova predaka. U *Rasplitanju duge* napisao sam:

Zar to nije očaravajuća misao? Mi smo digitalne arhive afričkog pliocena, čak i devonskih mora; hodajuće riznice mudrosti iz davnih dana. Mogli biste da provedete svoj vek čitajući u toj drevnoj biblioteci i skončate ne zasativši se njenih čuda.

2.4

GENI NISU MI⁶⁸

Vampira genetskog determinizma treba upokojiti. Otkriće takozvanog „gej gena“ dobra je prilika da to učinimo.

Tim istraživača s Nacionalnog instituta za zdravlje u Betezdi, u Merilendu, objavio je u časopisu *Science*⁶⁹ članak o sledećem opažanju. Mnogo je verovatnije da muški homoseksualci imaju homoseksualnu braću nego što biste pomislili. Po istom obrascu, takođe je verovatnije nego što biste očekivali, da imaju homoseksualne ujake i rođake s majčine strane, ali ne sa očeve. Obrazac odmah izaziva sumnju da je bar jedan gen koji uzrokuje homoseksualnost kod muškaraca, na X hromozomu.*

Tim iz Betezde otišao je još dalje. Moderna tehnologija omogućila im je da potraže određene nizove lokusa na samom DNK kodu. U jednoj oblasti, nazvanoj Xq28, blizu vrha X hromozoma, našli su pet identičnih lokusa koji su se ponavljali u značajnom procentu kod homoseksualne braće. Ove činjenice se elegantno dopunjuju u potvrdi ranijih dokaza o naslednoj komponenti muške homoseksualnosti.

Pa šta? Jesu li uzdrmani temelji sociologije? Treba li teolozi da zabrinuto krše ruke, a advokati zadovoljno trljaju dlanove? Govori li nam ovo otkriće išta novo o „krivici“ ili „odgovornosti“? Dodaje li to išta argumentima o tome je li homoseksualnost stanje koje se može ili treba lečiti? Da li će se homoseksualci sada više ili manje ponositi svojom sklonošću ili će je se stideti? Na sva ova pitanja odgovor je negativan. Ako ste ponosni, budite to i nadalje. Osećate li krivicu, osećajte je i dalje. Ništa se nije izmenilo. U obrazlaganju svog stava nije mi toliko važan ovaj određeni slučaj koji sam izabrao da bih ilustrovao opširniji prikaz gena i vampira genetskog determinizma.

* Zato što muškarci imaju samo jedan X hromozom, koji nužno nasleđuju od majke. Žene imaju dva X hromozoma, po jedan od svakog roditelja. Muškarac deli gene X hromozoma sa ujakom, ali ne i sa stricem.

Postoji važna razlika između nacrt a i recepta.* Nacrt je podrobna, postepena specifikacija gotovog proizvoda, kao što je kuća ili auto. Jedno od bitnih obeležja nacrt a jeste njegova reverzibilnost. Dajte inženjeru auto, i on će rekonstruisati njegov nacrt. Ali ako ponudite kuvaru da proba specijalitet svog rivala, on neće umeti da rekonstruiše recept. Komponente nacrt a i komponente gotovog proizvoda se podudaraju. Taj i taj deo automobila odgovara tom i tom delu u nacrt u. Takvo podudaranje ne važi za recept. Ne možete izdvojiti određeni mehurić u čorbi i naći u receptu reč koja taj mehurić „određuje“. Sve reči u receptu, uzete zajedno sa svim sastojcima, čine celovitu čorbu.

Geni su, u različitim aspektima ponašanja, nekad nalik na nacrt a nekad na recept. Važno je ne mešati ta dva aspekta. Geni su digitalne, tekstualne informacije, i oni zadržavaju svoju čvrstu, tekstualnu celovitost dok menjaju partnere kroz generacije. Hromozomi – dugi nizovi gena – nalikuju na dugačke računarske trake. Kada se deo genetske trake učita u ćeliju, informacija se najpre prevodi iz jednog koda u drugi: iz DNK koda u srodni kôd koji određuje tačan oblik molekula proteina. Do tog trenutka, geni se ponašaju kao nacrt. Postoji istinsko preslikavanje između delića (bitova) gena i delića (bitova) proteina, i ono zaista jeste determinističko.

Stvari se usložnjavaju i više podsećaju na recept u narednom koraku procesa – razvoju celovitog tela i njegovih psiholoških predispozicija. Retko kad postoji prosto preslikavanje između određenih gena i „bitova“ tela. Pre postoji preslikavanje između gena i faza u kojima se odvijaju procesi tokom embrionalnog razvoja. Krajnje posledice po tela i njihovo ponašanje često su raznovrsne i teško ih je sagledati.

Recept je dobra metafora, ali još bolja je ova: zamislite telo kao pokrivač okačen o plafon pomoću 100 000 gumenih traka, zamršenih i omotanih jedna oko druge. Oblik pokrivača – telo – određen je zatezanjem svih tih gumenih traka. Neke od gumenih traka predstavljaju gene, a druge uslove okruženja. Promena u određenom genu odgovara opuštanju ili zatezanju određene gumene trake. Ali svaka traka povezana je s pokrivačem samo posredno, preko bezbrojnih spojeva u mnoštvu ostalih gumenih traka. Ako presećete jednu gumenu traku,

* Razlika je takođe pomenuta u eseju „Pobedonosni Darwin“ (str. 87).

ili je zategnete, preraspodeliće se pritisak, pa će efekat na oblik pokrivača biti složen i teško predvidiv.

Na isti način, ako pojedinac poseduje određeni gen, ne mora nužno biti homoseksualac. Daleko je verovatnije da će uzročni uticaj biti statistički. Uticaj gena na tela i ponašanje sličan je uticaju duvanskog dima na pluća. Što više pušite, povećavate statističke izgleda da ćete dobiti rak pluća. Nećete neizbežno dobiti rak pluća. Niti će vas uzdržavanje od pušenja neizbežno zaštititi od raka. Živimo u statističkom svetu.

Zamislite ovakav naslov u novinama „Naučnici otkrili uzrok homoseksualnosti“. Očigledno, to i nije jaka vest; pre bi se reklo da je trivijalna. Sve ima svoj uzrok. Mnogo je zanimljivije reći da geni uzrokuju homoseksualnost, jer ta izjava ima estetsku vrednost zbog koje ne pogoduje gnjavatorima željnih političkih poena, ali ona i dalje ne govori ništa više o neopozivosti homoseksualnosti od mog trivijalnog naslova.

Teško je otkloniti neke osobine čiji je uzrok genetički. S pojedinim je lako. Neke osobine kojima je uzrok okruženje lako je obrnuti. S drugima je teško. Setite se koliko se teško oslobađamo naglaska iz detinjstva: odrasli imigrant je čitavog života obeležen kao stranac. To je bitno manje neminovan determinizam nego mnoga dejstva gena. Bilo bi zanimljivo znati koliki su statistički izgledi da će dete, izloženo određenom uticaju okoline, recimo verskoj indoktrinaciji od strane časnih sestara, kasnije moći da prevlada taj uticaj. Slično tome, bilo bi zanimljivo znati kakvi su statistički izgledi da će muškarac koji poseduje određeni gen u Xq28 oblasti X hromozoma postati homoseksualac. Pokazivanje da postoji gen „za“ homoseksualnost, samo po sebi ostavlja potpuno otvorenu mogućnost za tako nešto. Geni nemaju monopol na determinizam.

Dakle, bilo da mrzite homoseksualce ili ih volite, želite da ih držite pod ključem ili da ih lečite, bolje bi vam bilo da svoje razloge ne podupirete genetikom.