

Rizici globalnih katastrofa

Rizici globalnih katastrofa

Priredili

Nik Bostrom
Milan M. Ćirković

Prevod
Ljubomir Zlatanović
Ana Ješić



Naslov originala

Nick Bostrom (ed.) and Milan M. Ćirković (ed.):
GLOBAL CATASTROPHIC RISKS

Copyright © 2008, 2011 by Oxford University Press
Copyright © 2011 za srpsko izdanje, Heliks

Izdavač

Heliks

Za izdavača

Brankica Stojanović

Lektor

Aleksandra Dragosavljević

Recenzent

Dr Milan M. Ćirković

Štampa

Newpress, Smederevo

Tiraž

1000 primeraka

Prvo izdanje

Knjiga je složena

tipografskim pismima

FF Scala i FF Meta

ISBN: 978-86-86059-14-7

Smederevo, 2011, 2012.

www.heliks.rs

Predgovor

Godine 1903, Herbert Dž. Vels održao je predavanje na Kraljevskom institutu u Londonu, ističući rizik globalne katastrofe: „Nemoguće je,“ izjavio je mladi Vels, „dokazati da izvesne stvari neće u potpunosti uništiti ljudsku rasu i okončati njenu priču; da noć neće ubrzo pasti i sve naše snove i napore učiniti uzaludnim... nešto iz svemira, neka zaraza, ili neko veliko oboljenje atmosfere, neki prateći kometarni otrovi, neko veliko izlivanje isparenja iz unutrašnjosti zemlje, ili nove životinje koje će se hraniti nama, ili neka droga, ili razorno ludilo u ljudskom umu.“ Velov pesimizam produbio se u starijem dobu; živeo je dovoljno dugo da čuje o Hirošimi i Nagasakiju, i umro 1946.

Iste godine, nekoliko fizičara osnovalo je u Čikagu časopis pod nazivom *Bilten atomskih naučnika* (*Bulletin of Atomic Scientists*), s ciljem promocije kontrole naoružanja. „Logo“ na koricama biltena bio je sat čije je spajanje kazaljki blizu ponoći ukazivalo na uredničku procenu o tome u koliko je nesigurnoj situaciji svet. Svakih nekoliko godina velika kazaljka se pomera, bilo napred, bilo nazad.

Tokom decenija Hladnog rata, čitav Zapadni svet bio je u velikoj opasnosti. Supersile su mogle posrnuti ka armagedonu kroz haos i loše proračune. Mi nismo naročito racionalni pri proceni relativnog rizika. U nekim kontekstima, čak apsurdno odbijamo mogućnost rizika. Strepimo oko statistički sićušnih rizika: karcinogena u hrani, šanse da stradamo u železničkoj nesreći, koje su jedan prema milion, i tako dalje. Ali najveći broj među nama „poriče“ i odbija da vidi mnogo veći rizik stradanja u nuklearnoj katastrofi.

Godine 1989. sat *Biltena* bio je pomeren na 17 minuta do ponoći. Sada su mnogo manje šanse da desetine hiljada bombi razori našu civilizaciju. Ali postoji narastajući rizik da nekoliko bombi eksplodira u lokalizovanom sukobu. Suочeni smo sa širenjem nuklearnog naoružanja u više država – i možda čak rizikom da ga upotrebe terorističke grupe.

Štaviše, pretnja globalne nuklearne katastrofe mogla bi biti samo privremeno neaktivna. Tokom poslednjeg veka Sovjetski Savez se uzdigao i pao; desila su se dva svetska rata. U narednih sto godina, geopolitička preraspodela mogla bi biti podjednako drastična, dovodeći do nuklearnog suprotstavljanja između novih supersila, a ta situacija mogla bi se okončati manje vešto (ili manje srećno) nego Kubanska kriza i drugi napeti trenuci iz ere Hladnog rata. Nuklearna pretnja će uvek biti sa nama – ona je zasnovana na temeljnim (i javnim) naučnim idejama koje datiraju iz tridesetih godina 20. veka.

Uprkos hazardima, danas postoje neki istinski osnovi za tehno-optimizam. Za najveći broj ljudi u najvećem broju naroda, život nikada nije bio bolji. Inovacije koje će pokrenuti ekonomski napredak – informaciona tehnologija, biotehnologija i nanotehnologija – mogu podstići i zemlje u razvoju, kao i zemlje razvijenog sveta. Tehnologije 21. veka mogu ponuditi životni stil koji nije štetan po okolinu – uključujući nižu potražnju za energijom ili resursima od onih koje danas smatramo preduslovom dobrog života. I mogli bismo obezbediti sredstva – tamo gde ima političke volje – da izdignemo dve milijarde najugroženijih ljudi iz ekstremnog siromaštva.

Ali uz ove nade, tehnologija 21. veka suočiće nas s novim globalnim pretnjama – koje proističu iz bio-, kiber-, nauke o životnoj sredini, kao i iz fizike – koje bi mogle biti isto tako ozbiljne kao i nuklearna bomba. Danas je sat *Biltena* ponovo bliži ponoći. Te pretnje možda neće izazvati iznenadnu svetsku katastrofu – sat sudnjeg dana nije baš tako dobra metafora – ali će, sveukupno, biti uz nemirujuće i izazovne. Napetosti između dobroćudnih i štetnih uticaja novih tehnologija, i pretnje koje postavlja prometejska moć nauke, uz nemirujuće su realne. U današnjim okolnostima Velov pesimizam mogao bi se još više produbiti.

Jedan tip pretnje dolazi od strane kolektivne ljudske delatnosti; mi uništavamo prirodne resurse, menjamo klimu, pustošimo biosferu i mnoge vrste dovodimo do istrebljenja.

Klimatska promena nadvija se nad sve kao primarni ekološki izazov u 21. veku. Najranjiviji narodi – na primer u Africi ili Bangladešu – najmanje su sposobni da se prilagode. Zbog sagorevanja fosilnih goriva koncentracija CO₂ u atmosferi veća je nego što je ikada bila u poslednjih pola miliona godina – i sve brže raste. Što više raste CO₂, zagrevanje je sve veće – i što je još važnije, veće će biti šanse da otpočne nešto ozbiljno i nepovratno: porast nivoa mora usled topljenja leda na Grenlandu i tome slično. Globalno zagrevanje izazvano fosilnim gorivima koja sagorevamo u ovom veku, može dovesti do porasta nivoa mora koji će se nastaviti tokom čitavog milenijuma ili još duže.

Nauka o klimi je komplikovana. Ali jednostavna je u poređenju sa ekonomskim i političkim izazovima reakcije na nju. Neuspeh tržišta koji vodi globalnom zagrevanju predstavlja jedinstven izazov iz dva razloga. Prvo, za razliku od posledica poznatijih vrsta zagadenja, efekat je difuzan: emisija CO₂ u Velikoj Britaniji nema veći efekat ovde nego što ga ima u Australiji, i obrnuto. To znači da svaki uverljivi okvir za ublažavanje mora biti široko međunarodni. Drugo, glavni problemi nisu trenutni, već leže vek ili još duže u budućnosti: postavlja se pitanje međugeneracijske pravde; kako ćemo ceniti prava i interesu budućih generacija u poređenju s našim?

Rešenje zahteva koordinisanu akciju svih velikih naroda. Takođe zahteva dalekovidost – altruizam prema našim potomcima. Istorija će nam surovo suditi ako preterano potcenimo ono što bi se moglo desiti kad naši unuci budu ostarili. Duboko je zabrinjavajuće što još na horizontu nema zadovoljavajućeg rešenja koje bi svetu omogućilo da se otrgne od zavisnosti od uglja i nafte – ili nečega što

može da veže CO₂ koji ispuštaju energetska postrojenja. Da citiram Ala Gora, „Ne smemo skakati od poricanja ka očajanju. Možemo i moramo nešto učiniti.“

Prognoza je zaista neizvesna, ali ono što bi moralо najviše da znači i najjače da motiviše kreatore politike – jeste „najgori slučaj“ na kraju raspona predviđanja: „nekontrolisani“ proces koji bi najveći deo Zemlje učinio nenastanjivim.

Naše se globalno društvo suočava i sa drugim „pretnjama bez neprijatelja“ osim klimatske promene (mada povezanih s njom). Visoko među njima je pretnja po biološku raznolikost. Bilo je bar pet velikih istrebljenja u geološkoj prošlosti, od kako su se pojavile prve biljke i životinje. Ljudi sada izazivaju šesto. Stopa izumiranja hiljadu puta je viša od normalne, i još raste. Mi uništavamo knjigu života pre nego što smo je pročitali. Postoji verovatno više od 10 miliona vrsta, od kojih većina nije čak ni zabeležena – uglavnom su to insekti, biljke i bakterije.

Bioraznovrsnost često se proglašava kao ključna komponenta ljudskog blagostanja. To je očigledno tako: nama jasno šteti ako se zalihe ribe smanje do istrebljenja; u prašumama postoje mnoge biljke čiji bi nam genski fond mogao biti koristan. Ali mnogima od nas ovi „instrumentalni“ – i antropocentrični – argumenti nisu i jedini ubedljivi. Očuvanje bogatstva naše biosfere ima vrednost po sebi, veću i važniju od onoga što znači nama, ljudima.

Ali mi se suočavamo s još jednim novim nizom ranjivosti. One ne proističu iz našeg kolektivnog uticaja, već od koncentracije moći kod pojedinaca ili manjih grupa koje je donela tehnologija 21. veka.

Nove tehnike sintetičke biologije mogle bi dopustiti jeftino sintetisanje smrtonosnog biološkog naoružanja – namerno ili čak greškom. Ni organizovana mreža ne bi bila neophodna: samo pojedinačni fanatik ili čudak s mentalnim sklopom onih koji sada prave računarske viruse – mentalnim sklopom piromana. Bio (i kiber) znanja biće dostupna milionima. U našem umreženom svetu uticaj bilo kakve nekontrolisane katastrofe brzo može postati globalni.

Pojedinci će uskoro imati mnogo veću „moć“ nego što ih imaju savremeni teroristi. Može li naše povezano društvo biti zaštićeno od greške ili terora bez potrebe za žrtvovanjem svoje raznolikosti i individualizma? Pitanje je teško ali ujedno je i ozbiljno.

Zavaravamo se ako mislimo da tehničko obrazovanje vodi uravnoteženoj razumnosti: ono može biti kombinovano s fanatizmom – ne samo sa tradicionalnim fundamentalizmom, koga smo danas toliko svesni, već i sa iracionalnostima novog doba. Postoje znaci uznemirenja – na primer, Raelijanci (koji tvrde da kloniraju ljudska bića) i kult Rajskih vrata (čiji su sledbenici počinili kolektivno samoubistvo u nadi da će ih svemirski brod uzneti do „više sfere“). Takvi kultovi tvrde da su „naučni“, a zapravo imaju nepouzdani oslonac u realnosti. Zatim postoje ekstremni eko-čudaci koji veruju da bi svet bio bolji bez ljudi. Može li se globalno selo uhvatiti u koštač sa seoskim idiotima – naročito ako i jedan od njih može biti previše?

Nisu ove brige tako udaljeno futurističke – sa nekim od njih ćemo se sigurno sresti već za 10–20 godina. Ali šta je sa kasnjijim decenijama ovog veka? Teško

ih je predvideti zato što se neke tehnologije mogu razvijati nekontrolisanom brzinom. Štaviše, sam ljudski karakter i fizički izgled mogu uskoro postati promenljivi do mere koja je kvalitativno nova u našoj istoriji. Nove droge (i možda čak implanti u našim mozgovima) mogu izmeniti ljudski karakter; kibersvet ima potencijal koji je istovremeno i uzbudljiv i zastrašujući.

Ne možemo stoga pouzdano pogoditi životne stilove, stavove, društvenu strukturu ili veličinu populacije za čitav vek. Zaista, nije čak ni jasno koliko će dugo naši potomci ostati karakteristično „ljudi“. Sam Darwin je primetio da „nijedna živa vrsta neće preneti neizmenjenu sličnost dalekim pokolenjima“. I naša vrsta će se sigurno menjati i diversifikovati brže nego bilo koja prethodna – preko ljudskom rukom izazvanih modifikacija (bilo da su inteligentno kontrolisane ili slučajne), a ne samo prirodnom selekcijom. Postljudska era možda je samo nekoliko vekova daleko. A šta ćemo sa veštačkom inteligencijom? Superintelligentne mašine mogle bi biti poslednji izum koji će ljudskoj vrsti biti potreban. Treba da imamo potpuno otvoren, ili bar otškrinut, um prema konceptima koji izgledaju kao da su na granici naučne fantastike.

Ova razmišljanja mogu delovati irelevantno po praktičnu politiku – kao nešto o čemu akademski mislioci raspravljaju u slobodno vreme. I ja sam tako mislio ranije. Ali ljudi su sada, pojedinačno i kolektivno, stekli toliku moć brzom promenom tehnologije, da možemo – prema projektu ili nemernim posledicama – izazvati nepovratne globalne promene. Izvesno je neodgovorno ne razmišljati šta to može da znači; i istinski je politički napredak što su izazovi koji proističu iz novih tehnologija više rangirani na međunarodnom dnevnom redu, i što planeri ozbiljno razmišljaju šta bi se stoga moglo desiti za duže od veka.

Ne možemo požnjeti koristi od nauke ako ne prihvatimo neke rizike – uvek je slučaj bio takav. Svaka nova tehnologija rizična je u svojim početnim fazama. Ali sada postoji važna razlika u odnosu na prošlost. Većina rizika s kojima smo se susretali razvijajući „stare“ tehnologije, bila je lokalizovana: kada bi, u vreme ranih parnih mašina eksplodirao kotao, bilo je to užasno, ali postojala je „gornja granica“ užasa. Međutim, u našem, sve povezanim svetu, postoje novi rizici čije posledice mogu biti globalne. Čak i minorna verovatnoća globalne katastrofe duboko je uznenimirujuća.

Ne možemo eliminisati sve opasnosti po našu civilizaciju (čak ni po opstanak čitave vrste). Ali na nama je svakako dužnost da razmišljamo o nezamislivom i da istražujemo kako optimalno upotrebiti tehnologiju 21. veka uz minimizovanje „mana“. Ako bismo na katastrofične rizike primenili istu razboritu analizu koja nas vodi ka svakodnevnim merama predostrožnosti, a ponekad i kupovini osiguranja – množenje verovatnoće posledicama – sigurno bismo zaključili da neki od scenarija razmatranih u ovoj knjizi zasluzuju više pažnje nego što su je dobili.

Moje obrazovanje kao kosmologa, slučajno mi otvara još jedan pogled – dodatni motiv za zabrinutost – kojim ću ukratko i zaključiti.

Ogromni vremenski rasponi evolucione prošlosti sada su deo opšte kulture – osim među nekim kreacionistima i fundamentalistima. Ali najveći broj

obrazovanih ljudi, čak i ako su potpuno svesni da su za našu pojavu bile potrebne milijarde godina, nekako misle da smo mi, ljudi, vrh evolucionog stabla. To nije tako. Naše Sunce još nije prešlo polovinu svog života. Ono lagano postaje sve sjajnije, ali će Zemlja ostati nastanjiva za još milijardu godina. Međutim, čak i u toj kosmičkoj vremenskoj perspektivi – koja se širi daleko u budućnost kao i u prošlost – 21. vek može biti odlučujući momenat. On je prvi u istoriji naše planete u kome je jedna vrsta – naša – držala budućnost Zemlje u svojim rukama i mogla da ugrozi ne samo sebe, već i čitav neizmeran životni potencijal.

Odluke koje mi donešemo, pojedinačno i kolektivno, određiće hoće li rezultati nauke 21. veka biti dobroćudni ili razorni. Moramo se suprotstaviti ne samo pretnjama našoj sredini, već i potpuno novoj kategoriji rizika – s naizgled niskom verovatnoćom, ali tako kolosalnim posledicama da zahtevaju mnogo više pažnje nego što su je do sada imali. Zato bi trebalo da s dobrodošlicom dočekamo ovu fascinantnu i provokativnu knjigu. Urednici su okupili izuzetnu grupu autora sa znanjem strahovito širokog spektra. Pitanja i argumenti koji su ovde predstavljeni, trebalo bi da privuku šire čitateljstvo – i zaslužuju naročitu pažnju naučnika, političara i etičara.

*ser Martin Dž. Riz,
Kraljevski astronom*

Uz srpsko izdanje

Velika je čast i zadovoljstvo videti pojavljivanje ovog zbornika tekstova o globalnim katastrofičkim rizicima na srpskom govornom području. Tema su, očigledno, događaji za koje, nasuprot opštem mestu, doslovno važi da nakon njih život *ne teče dalje*. I dok se, kao što je u predgovoru ser Martina Riza i u uvodnom poglavlju predočeno, u ovom pogledu ne možemo previše oslanjati na iskustvo, to ne znači da je u pitanju išta manje značajna tema, ne samo u istraživačkom, već i širem životnom smislu. Antologija koju imate u rukama samo je jedan od početaka u ovom pravcu.

Ovde želim da pomenem jedan od aspekata problema koji nikad nije previše isticati, a koji je našem čitaocu gotovo neminovno poznat. Krajnje je vreme da se problemu globalnih katastrofičkih rizika da praktična, aktivistička nota i u našem podneblju, kao što je to već neko vreme slučaj u svetu. Standardni izgovori koji su se, nažalost, dugo razvijali u našoj sredini, naročito u medijskom i javnom diskursu, kao pokriće za nacionalizam, ksenofobiju i ciničnu zagledanost u vlastiti pupak, ovde prestaju da funkcionišu. Problemi kojima je posvećena ova knjiga su istinski globalni i utiču podjednako na Srbiju kao i na bilo koju drugu sredinu. Zagrevanje naše planete kao posledica efekta staklene baštne je već danas povezano sa poskupljenjima hrane na Futoškoj ili Kalenić pijaci podjednako kao i bilo gde drugde. Svetska ekonomска kriza iz 2008. se vrlo jasno – uprkos neukim i arogantnim tvrdnjama domaćih političara – osetila i odrazila na standard miliona građana naše zemlje. Prizemljjenje aviona zbog, suštinski minorne, erupcije vulkana na dalekom Islandu iskomplikovalo je život putnicima na aerodromu „Nikola Tesla“ podjednako kao i na Hitrou, Šeremetjevu ili milanskoj Malpensi. Ukoliko je to slučaj sa događajima manjeg obima, utoliko pre i snažnije mora važiti za događaje ogromnih razmera kojima se bavi ova knjiga. (Neki od ovih i sličnih događaja koji su se odigrali nakon izlaska iz štampe originalnog engleskog izdanja ove knjige u junu 2008. godine samo su dodatno dali na značaju ovoj temi.)

Konačno, još jedna okolnost čini srpsko izdanje ove knjige dodatno zanimljivim. Kod nas nema značajne tradicije naučnog i filozofskog promišljanja ovih pitanja, ali jedan važan primer iz domena umetničkog stvaralaštva ne treba mimoći. Radi se o jednom od najvećih, ako ne i najvećem majstoru srpskog jezika u poslednjih pola veka, Borislavu Pekiću. U više svojih proznih dela, a

izdvojiću ovde *Besnilo*, 1999 i *Atlantidu*, kao i u esejistici, njegova genijalna vizija još je pre više decenija upozoravala na neke od globalnih pretnji koje tek sada dolaze u fokus. Neka i ovo izdanje bude povod da se vratimo ovim proverenim vrednostima koje, na našu često neotkrivenu sreću, možemo čitati u originalu.

Beograd, 1. IX 2011.
prof. dr Milan M. Ćirković

Sadržaj

Predgovor	v
<i>Martin Dž. Riz</i>	
Uz srpsko izdanje.....	xi
<i>Milan M. Ćirković</i>	
1 Uvod	1
<i>Nik Bostrom i Milan M. Ćirković</i>	
1.1 Zašto?	1
1.2 Taksonomija i organizacija	2
1.3 Prvi deo: Poreklo	7
1.4 Drugi deo: Rizici od prirode	12
1.5 Treći deo: Rizici od neželjenih posledica	14
1.6 Četvrti deo: Rizici od neprijateljskih akata	20
1.7 Zaključci i budući smerovi	26
Deo I Scena	
2 Dugoročni astrofizički procesi	31
<i>Fred Adams</i>	
2.1 Uvod: fizička eshatologija	31
2.2 Sudbina Zemlje	32
2.3 Izolacija lokalne grupe	34
2.4 Sudar sa Andromedom	34
2.5 Kraj zvezdane evolucije	35
2.6 Era degenerisanih ostataka	36
2.7 Era crnih rupa	38
2.8 Tamna era i nakon nje	40
2.9 Život i obrada informacija	41
2.10 Zaključak	41
3 Teorija evolucije i budućnost čovečanstva.....	45
<i>Kristofer Vils</i>	
3.1 Uvod	45
3.2 Uzroci evolucione promene	46
3.3 Promene okruženja i evolucione promene	47
3.3.1 Ekstremne evolucione promene	48

3.3.2	Tekuće evolucione promene	49
3.3.3	Promene kulturnog okruženja.....	52
3.4	Tekuća evolucija čoveka.....	57
3.4.1	Evolucija ponašanja	57
3.4.2	Budućnost genetičkog inženjeringu	59
3.4.3	Evolucija drugih vrsta, uključujući i one od kojih zavisimo.....	60
3.5	Budući evolucioni smerovi	61
3.5.1	Drastične i brze klimatske promene bez promena ljudskog ponašanja.....	61
3.5.2	Drastične ali sporije promene okruženja praćene promenama u ljudskom ponašanju.....	61
3.5.3	Kolonizacija novih okruženja našom vrstom.....	63
4	Milenijalističke tendencije kao odgovori na apokaliptične pretnje	68
	<i>Džejms Dž. Hruz</i>	
4.1	Uvod.....	68
4.2	Tipovi milenijalizma	69
4.2.1	Premilenijalizam	69
4.2.2	Amilenijalizam	70
4.2.3	Postmilenijalizam.....	71
4.3	Mesijanizam i milenijarizam	71
4.4	Pozitivne ili negativne teleologije: utopizam i apokalipticizam	72
4.5	Savremeni tehnološki milenijalizam	73
4.5.1	Singularitet i tehnološki milenijalizam	73
4.6	Tehnološki-apokalipticizam	76
4.7	Simptomi disfunkcionalnog milenijalizma	
	u proceni budućih scenarija	78
4.8	Zaključci.....	80
5	Neobjektivnosti koje potencijalno utiču na procenu globalnih rizika.....	86
	<i>Eliezer Jadkovski</i>	
5.1	Uvod.....	86
5.2	Raspoloživost.....	87
5.3	Sklonost naknadnom uviđanju	88
5.4	Crni labudovi.....	89
5.5	Zabluda povezivanja.....	90
5.6	Sklonost potvrđi.....	93
5.7	Usidravanje, prilagođavanje i zagađenje	97
5.8	Afektivna heuristika	99
5.9	Zanemarivanje opsega	100
5.10	Kalibracija i preterana samouverenost	102

5.11	Apatija posmatrača	104
5.12	Završno upozorenje.....	106
5.13	Zaključak.....	107
6	Posmatrački selekcioni efekti i globalni katastrofički rizici	114
	<i>Milan M. Ćirković</i>	
6.1	Uvod: antropsko rezonovanje i globalni rizici	114
6.2	Asimetrija prošlost–budućnost i zaključivanje o riziku	115
6.2.1	Uprošćeni model	116
6.2.2	Antropska neobjektivnost natpoverenja	118
6.2.3	Klasa primenljivih rizika.....	120
6.2.4	Dodatne astrobiološke informacije	122
6.3	Argument sudnjeg dana	123
6.4	Fermijev paradoks	125
6.4.1	Fermijev paradoks i rizici globalne katastrofe	128
6.4.2	Rizici koji proističu iz prisustva vanzemaljske inteligencije.....	129
6.5	Argument simulacije.....	132
6.6	Napredovanje u izučavanju posmatračkih selekcionih efekata..	134
7	Sistemski zasnovana analiza rizika	139
	<i>Jakov J. Hejms</i>	
7.1	Uvod.....	139
7.2	Rizik po međuzavisnu infrastrukturu i ekonomski sektore	140
7.3	Hijerarhijsko holografsko modelovanje i teorija izgradnje scenarija.....	142
7.3.1	Filozofija i metodologija hijerarhijskog holografskog modelovanja.....	142
7.3.2	Definicija rizika.....	143
7.3.3	Istorijske perspektive	144
7.4	Prividni sistemski modeli za upravljanje rizikom nastupajućih multiskalarnih sistema	146
7.5	Rizici od ekstremnih i katastrofičkih dogadaja.....	147
7.5.1	Ograničenja očekivane vrednosti rizika.....	147
7.5.2	Metod deljenog višeciljnog rizika.....	148
7.5.3	Rizik nasuprot analizi pouzdanosti	152
8	Katastrofe i osiguranje	156
	<i>Piter Tejlor</i>	
8.1	Uvod.....	156
8.2	Katastrofe	158
8.3	Šta misli poslovni svet.....	160
8.4	Osiguranje.....	161
8.5	Cenovnik rizika	164

8.6	Modeli gubitaka usled katastrofe	165
8.7	Šta je rizik?	168
8.8	Cena i verovatnoća.....	171
8.9	Doba neizvesnosti.....	171
8.10	Nove tehnike	173
8.10.1	Kvalitativna procena rizika.....	173
8.10.2	Nauka o složenosti.....	173
8.10.3	Statistika ekstremnih vrednosti.....	173
8.11	Zaključak: protiv bogova?.....	174
9	Odnos društva prema katastrofama	176
	<i>Ričard A. Pozner</i>	
Deo II Rizici iz prirode		
10	Supervulkanizam i drugi katastrofalni geofizički procesi	195
	<i>Majkl R. Rampino</i>	
10.1	Uvod.....	195
10.2	Uticaj supererupcija na atmosferu	196
10.3	Vulkanska zima.....	197
10.4	Mogući ekološki efekti supererupcije.....	199
10.5	Supererupcije i ljudska populacija.....	201
10.6	Učestalost supererupcija.....	202
10.7	Efekti supererupcija na civilizaciju	203
10.8	Supererupcije i život u svemiru	204
11	Hazardi od kometa i asteroida	211
	<i>Vilijam Nejpijer</i>	
11.1	Nešto kao velika gora.....	211
11.2	Koliko su sudari česti?.....	212
11.2.1	Sudarni krateri	212
11.2.2	Potraga za objektima bliskim Zemlji.....	215
11.2.3	Dinamička analiza.....	215
11.3	Efekti sudara	218
11.4	Uloga prašine.....	220
11.5	Temeljna istina?.....	222
11.6	Nepoznanice.....	223
12	Uticaji supernova, bleskova gama zračenja, Sunčevih baklji i kosmičkih zraka na zemaljsko okruženje	227
	<i>Armon Dar</i>	
12.1	Uvod.....	227
12.2	Pretnje od radijacije.....	227
12.2.1	Uverljive pretnje	227
12.2.2	Protuberance.....	231

12.2.3	Sunčeva aktivnost i globalno zagrevanje	232
12.2.4	Solarno izumiranje.....	233
12.2.5	Zračenje od eksplozija supernovih	234
12.2.6	Bleskovi gama zračenja	235
12.3	Pretnje od kosmičkih zraka	237
12.3.1	Promene Zemljinog magnetskog polja	239
12.3.2	Sunčeva aktivnost, kosmički zraci, i globalno zagrevanje.....	239
12.3.3	Prolazak kroz spiralne galaktičke grane	240
12.3.4	Kosmički zraci od obližnjih supernovih.....	241
12.3.5	Kosmički zraci od gama-bleskova	241
12.4	Poreklo najvećih masovnih izumiranja	244
12.5	Fermijev paradoks i masovna izumiranja	246
12.6	Zaključci	247
Deo III Rizici od neželjenih posledica		
13	Klimatske promene i globalni rizik	253
	<i>Dejvid Frejm i Majls R. Alen</i>	
13.1	Uvod.....	253
13.2	Modeliranje klimatske promene	254
13.3	Prost model klimatske promene	255
13.3.1	Solarna prinuda	255
13.3.2	Vulkanska prinuda	257
13.3.3	Antropogena prinuda.....	259
13.4	Granice trenutnog znanja.....	260
13.5	Definisanje opasne klimatske promene.....	264
13.6	Regionalni klimatski rizik usled antropogene promene.....	265
13.7	Klimatski rizik i politika ublažavanja	267
13.8	Diskusija i zaključci.....	269
14	Zaraze i pandemije: prošle, sadašnje i buduće.....	274
	<i>Edvin Denis Kilburn</i>	
14.1	Uvod.....	274
14.2	Osnovna linija: hroničan i stalan teret zaraznih bolesti	274
14.3	Uzročnici pandemija.....	276
14.4	Priroda i izvor parazita.....	276
14.5	Načini prenosa mikroba i virusa	276
14.6	Uticaj bolesti: visoka stopa morbiditeta, mortaliteta ili obe.....	278
14.7	Faktori okoline	279
14.8	Ljudsko ponašanje	279
14.9	Zarazne bolesti kao doprinosi drugim prirodnim katastrofama...	280
14.10	Protekle zaraze i pandemije, i njihov uticaj na istoriju.....	280
14.11	Zaraze od istorijskog značaja	281

14.11.1	Bubonska kuga: Crna smrt.....	281
14.11.2	Kolera.....	282
14.11.3	Malaria.....	282
14.11.4	Velike boginje.....	288
14.11.5	Tuberkuloza.....	283
14.11.6	Sifilis kao paradigma seksualno prenosivih zaraza.....	284
14.11.7	Grip.....	284
14.12	Savremene zaraze i pandemije.....	285
14.12.1	HIV/AIDS.....	285
14.12.2	Grip.....	285
14.12.3	HIV i tuberkuloza: dvostruki uticaj nove i drevne pretnje.....	286
14.13	Zaraze i pandemije budućnosti.....	286
14.13.1	Mikrobi koji prete bez zaraze: otrovi mikroba.....	286
14.13.2	Iatrogene bolesti	287
14.14	Diskusija i zaključci.....	289
15	Veštačka inteligencija kao pozitivan i negativan faktor globalnog rizika.....	294
	<i>Eliezer Jadkovski</i>	
15.1	Uvod.....	294
15.2	Antropomorfna neobjektivnost.....	294
15.3	Predviđanje i dizajn.....	297
15.4	Potcenjivanje moći inteligencije	299
15.5	Sposobnost i motiv	300
15.5.1	Optimizacioni procesi.....	301
15.5.2	Ciljanje u metu	302
15.6	Prijateljska veštačka inteligencija.....	303
15.7	Tehnički neuspeli filosofski neuspeli	305
15.7.1	Primer filosofskog neuspeha.....	305
15.7.2	Primer tehničkog neuspeha	307
15.8	Porast stopa inteligencije	309
15.9	Hardver.....	314
15.10	Pretnje i obećanja	316
15.11	Lokalne i većinske strategije	320
15.12	Interakcije veštačke inteligencije s drugim tehnologijama	324
15.13	Stvaranje napretka na Prijateljskoj veštačkoj inteligenciji	325
15.14	Zaključak	327
16	Velike nevolje, izmišljene i stvarne	332
	<i>Frenk Vilček</i>	
16.1	Zašto tražiti nevolje?.....	332
16.2	Oprez pre skoka	333

16.2.1	Katastrofe u akceleratorima čestica.....	333
16.2.2	Nekontrolisane tehnologije.....	342
16.3	Pripreme za spremnost.....	344
16.4	Radoznalost.....	345
17	Katastrofa, društveni slom i nestanak čovečanstva.....	348
	<i>Robin Henson</i>	
17.1	Uvod.....	348
17.2	Šta je društvo?	348
17.3	Društveni rast.....	349
17.4	Društveni slom	351
17.5	Raspodela katastrofe.....	352
17.6	Egzistencijalne katastrofe	354
17.7	Politika katastrofe	357
17.8	Zaključak	360
Deo IV Rizici od neprijateljskih delovanja		
18	Stalna pretnja nuklearnog rata.....	365
	<i>Džozef Sirinsioni</i>	
18.1	Uvod.....	365
18.1.1	Nuklearne snage Sjedinjenih Država	368
18.1.2	Ruske nuklearne snage	369
18.2	Računica za armagedon	370
18.2.1	Rat ograničenog opsega	370
18.2.2	Globalni rat	372
18.2.3	Regionalni rat	374
18.2.4	Nuklearna zima	375
18.3	Aktuelni odnosi nuklearnih snaga.....	376
18.4	Dobre vesti u vezi sa proliferacijom.....	380
18.5	Sveobuhvatan pristup.....	381
18.6	Zaključak	384
19	Nuklearni terorizam kao potencijalna katastrofa: opasnost koja se može sprečiti.....	387
	<i>Geri Akerman i Vilijam Poter</i>	
19.1	Uvod.....	387
19.2	Istorijsko priznavanje pretnje nuklearnog terorizma	388
19.3	Motivacija i sposobljenost za nuklearni terorizam.....	391
19.3.1	Motivacija: aspekt potražnje nuklearnog terorizma	391
19.3.2	Aspekt ponude nuklearnog terorizma.....	396
19.4	Verovatnoća javljanja.....	402
19.4.1	Aspekt potražnje: ko želi nuklearno oružje?	402
19.4.2	Aspekt ponude: koliko su odmakli teroristi?	404

19.4.3	Kolika je verovatnoća da teroristi steknu nuklearno oružje ili da postanu sposobni da ga proizvedu u budućnosti?	407
19.4.4	Da li bi teroristi mogli da izazovu nuklearni holokaust nenuklearnim sredstvima?	411
19.5	Posledice nuklearnog terorizma.....	412
19.5.1	Fizičke i ekonomski posledice	412
19.5.2	Psihološke, socijalne i političke posledice.....	414
19.6	Procena i umanjenje rizika.....	417
19.6.1	Rizik globalne katastrofe.....	417
19.6.2	Smanjenje rizika.....	421
19.7	Preporuke	422
19.7.1	Neposredni prioriteti	423
19.7.2	Dugoročni prioriteti	425
19.8	Zaključak	427
20	Biotehnologija i biobezbednost.....	434
	<i>Ali Nuri i Kristofer F. Čiba</i>	
20.1	Uvod.....	434
20.2	Biološka oružja i rizici	436
20.3	Biološko oružje se razlikuje od drugih takozvanih oružja masovnog uništenja	438
20.4	Korist prate rizici	439
20.5	Rizici biotehnologije nadilaze tradicionalnu virusologiju, mikrobiologiju i molekularnu biologiju.....	442
20.6	Suočavanje sa biotehnološkim rizicima	444
20.6.1	Nadzor istraživanja	444
20.6.2	„Blagi“ nadzor	445
20.6.3	Višepravno partnerstvo za suočavanje sa biotehnološkim rizicima	446
20.6.4	Okvir za upravljanje rizikom tehnologija <i>de novo</i> sinteze DNK	447
20.6.5	Od dobrovoljnog usvajanja kodeksa ponašanja do međunarodne regulative	448
20.6.6	Biotehnološki rizici nadilaze proizvodnju novih tehnologija	448
20.6.7	Širenje biotehnologije može da unapredi biološku bezbednost	449
20.7	Katastrofalni biološki napadi	449
20.8	Jačanje mera nadzora i suzbijanja bolesti	452
20.8.1	Nadzor i otkrivanje	452
20.8.2	Saradnja i komunikacija su od presudne važnosti za kontrolu izbjeganja epidemije.....	454

20.8.3	Mobilizacija sektora javnog zdravlja	455
20.8.4	Suzbijanje pojave bolesti.....	455
20.8.5	Istraživanje, vakcine i nalaženje lekova su ključne komponente efikasne strategije odbrane	456
20.8.6	Za biološku bezbednost neophodna je saradnja.....	457
20.9	Ka biološki bezbednoj budućnosti	458
21	Nanotehnologija kao rizik globalne katastrofe	464
	<i>Kris Feniks i Majk Trejder</i>	
21.1	Tehnologije nanorazmra	465
21.1.1	Nužna jednostavnost proizvoda	465
21.1.2	Rizici vezani za tehnologije nanorazmra	466
21.2	Molekularna proizvodnja	467
21.2.1	Proizvodi molekularne proizvodnje.....	469
21.2.2	Nanotehnološki proizvedeno oružje	470
21.2.3	Rizici globalnih katastrofa	471
21.3	Ublažavanje rizika molekularne proizvodnje	479
21.4	Diskusija i zaključak.....	481
	Preporuke za dalje čitanje	482
	Osnovni nivo	482
	Srednji nivo	483
	Napredni nivo	484
22	Totalistička pretnja	487
	<i>Brajan Kaplan</i>	
22.1	Totalitarizam: šta se desilo i zašto se (uglavnom) završilo	487
22.2	Stabilni totalitarizam	489
22.3	Faktori rizika za stabilni totalitarizam	493
22.3.1	Tehnologija	493
22.3.2	Politika	494
22.4	Upravljanje rizikom od totalitarizma	497
22.4.1	Tehnologija	497
22.4.2	Politika	498
22.5	„Koliko iznosi vaša <i>p</i> ?“	430
	Biografije autora	502
	Zahvalnice	513
	Indeks	514

•1•

Uvod

Nik Bostrom i Milan M. Ćirković

1.1 Zašto?

Izraz „rizik globalne katastrofe“ nema preciznu definiciju. Mi ga koristimo, slobodno rečeno, za rizik koji potencijalno može ozbiljno našteti dobrobiti ljudi na globalnom nivou. Prema takvoj odredbi, ogroman broj različitih skupova događaja mogao bi da čini globalne katastrofe: od vulkanskih erupcija do pandemijskih zaraza, od nuklearnih incidenata do svetskih tiranija, od naučnih eksperimenta izmaklih kontroli do klimatskih promena, i od kosmičkih hazarda do ekonomskog kolapsa. Imajući ovo na umu, neko bi se mogao upitati kakva je korist od knjige o riziku globalne katastrofe? Pošto razmotreni rizici naizgled imaju vrlo malo zajedničkog, ima li „rizik globalne katastrofe“ uopšte smisla kao tema? Ili je knjiga koju držite u rukama isto tako loše zamišljen i nesređen projekat kao i izdanje o „Baštovanstvu, matričnoj algebri i istoriji Vizantije“?

Uvereni smo da će obimno razmatranje rizika globalne katastrofe biti od nešto veće koristi i koherentnije od teme iz pomenutog izmišljenog naslova. Takođe, verujemo da je veoma važno proučavati ovu temu. Iako se rizici na mnogo načina razlikuju, povezuje ih mnoštvo dodirnih tačaka i sličnosti. Na primer, kod brojnih tipova razornih događaja, veliki deo štete rezultat je drugostepenih uticaja na društveni poredak; zato rizici društvenog poremećaja i sloma nisu nepovezani s rizicima događaja kao što su nuklearni terorizam ili pandemijске bolesti. Uzmimo, na primer, naizgled tako različite događaje kao što su veliki udari asteroida, vulkanske supererupcije i nuklearni rat, koji bi izazvali izbacivanje masivne količine čadi i aerosola u atmosferu, sa značajnim efektima na globalnu klimu. Upravo zato što postoje takve uzročne veze ima smisla zajedničko proučavanje više rizika.

Još jedna sličnost je u tome da mnoga metodološka, konceptualna i kulturna pitanja zalaze u domen rizika globalne katastrofe. Ako nas ta pitanja zanimaju, proučavati kako se ona postavljaju u različitim kontekstima često je pravo prosvetljenje. Nasuprot tome, pojedina opšta saznanja – na primer, o sklonostima u spoznaji ljudskog rizika – mogu biti primenjena na mnogo različitih rizika i upotrebljena da poboljšaju naše procene u načelu.

Pored ovih teoretskih sličnosti, postoje i pragmatični razlozi za tretiranje rizika globalne katastrofe kao jedinstvene oblasti. O ovim rizicima se retko vodi računa, a ublažavanje posledica je skupo. Za odluku o raspodeli napora

i resursa neophodne su uporedne procene. Ako rizike tretiramo zasebno, a nikada kao deo ukupnog profila pretnje, možemo se neopravdano fiksirati na jednu ili dve opasnosti koje su zaokupile maštu javnosti i stručnjaka u datom trenutku, a zanemariti ozbiljnije rizike ili one koji se pre mogu ublažiti. Ili, možda bismo prevideli da bi neka preventivna politika, premda efikasna u umanjenju rizika na koji smo se usredsredili, istovremeno bila u stanju da stvori nove hazarde i poveća ukupan nivo rizika. Širi pogled dopušta nam da steknemo perspektivu i time nam može pomoći u mudrijem određivanju prioriteta.

Prvi cilj ove knjige je da obrazovanom interdisciplinarnom čitateljstvu ponudi uvod u raspon rizika globalne katastrofe s kojima se čovečanstvo suočava sada ili ih može očekivati u budućnosti. Postoji više ciljnih grupa za izneta saznanja. Akademicima specijalizovanim za neku od ovih oblasti rizika koristiće saznanja o drugim rizicima. Profesionalci iz oblasti osiguranja, finansija i poslovanja – iako obično prezauzeti ograničenijim i neposrednijim izazovima – imaće koristi od šireg pogleda. Političkim analitičarima, aktivistima i laicima zabrinutim za promovisanje odgovorne politike, takođe će koristiti najsavremenija istraživanja globalnih rizika. Najzad, svako ko brine, ili je, naprsto, radoznao šta bi moglo poći naopako u savremenom svetu, može naći mnogo zanimljivog u narednim poglavljima. Nadamo se da će ova knjiga biti koristan uvodnik za sve te čitaoce. Na kraju svakog poglavlja autori upućuju na dodatnu literaturu one koji žele da ispitaju još podrobnije relevantan skup tema.

Ova knjiga ima i jedan obuhvatniji cilj: da stimuliše svest o proširenom istraživanju i informativnoj javnoj raspravi o velikim rizicima i strategijama njihovog izbegavanja ili ublažavanja. Verujemo da će postojanje interdisciplinarne zajednice stručnjaka i laika koji imaju znanja o rizicima globalne katastrofe poboljšati izglede da se pronađu dobra rešenja i primene na velike izazove u 21. veku.

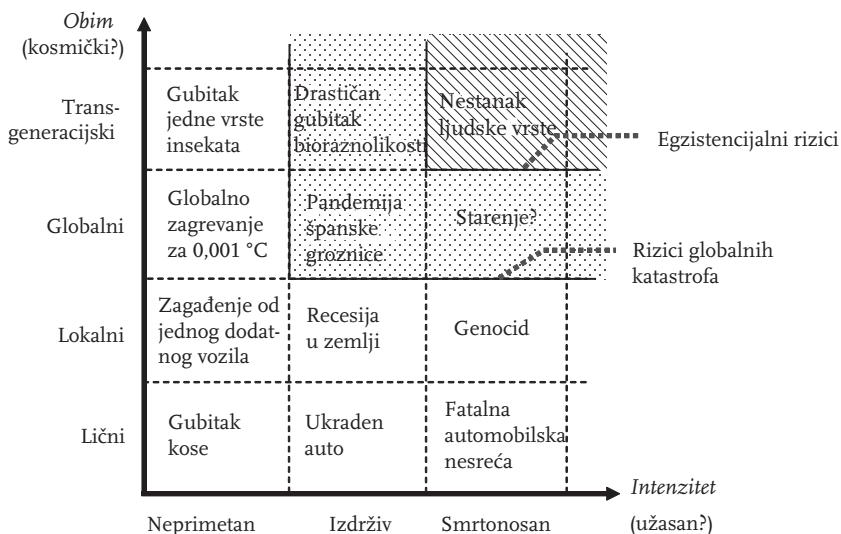
1.2 Taksonomija i organizacija

Pogledajmo sada bliže ono što bi trebalo i ono što ne bi trebalo računati kao rizik globalne katastrofe. Setite se da bi šteta morala biti ozbiljna a nivo globalni. Imajući ovo u vidu, katastrofa koja odnese 10.000 žrtava ili nanese 10 milijardi dolara ekonomske štete (na primer, veliki zemljotres), ne kvalifikuje se kao globalna katastrofa. Katastrofa koja bi izazvala 10 miliona žrtava i 10 hiljada milijardi dolara ekonomskog gubitka (na primer, pandemija gripe) svakako se računa kao globalna katastrofa, čak i ukoliko je neki regioni u svetu izbegnu. Za one katastrofe koje se nađu između ovih raspona, definicija je neodređena. Potreba za preciznim određenjem u ovoj fazi ne izgleda neophodna. Kao i mnogo puta u istoriji nauke, precizne taksonomije i formalizacije dolaze na kraju istraživanja u datoj oblasti – a ovde smo tek na početku.

Globalne katastrofe dešavale su se mnogo puta u istoriji, čak i ako računamo samo nesreće s više od 10 miliona žrtava. Veoma ograničen spisak primera uključio bi ustanak An Ši (756–763), Tajpinški ustanak (1851–1864), i glad za vreme Velikog skoka unapred u Kini, Crnu smrt u Evropi, pandemiju Šanske groznice, dva svetska rata, nacističke genocide, glad u britanskoj Indiji, Staljinov totalitarizam, desetkovanje starosedelačke američke populacije velikim boginjama i drugim bolestima koje su pratile dolazak evropskih kolonizatora, verovatno mongolska osvajanja, možda belgijski Kongo. Bezbrojni drugi slučajevi mogli bi se dodati na listu u zavisnosti od toga kako su raznovrsne nevolje i hronični uslovi individualizovani i klasifikovani.

Ozbiljnost rizika grubo bismo mogli da prikažemo s tri promenljive: preko *obima* (koliko bi ljudi – i drugih moralno relevantnih bića – bilo pogodeno), *intenziteta* (koliko bi žestoko oni bili pogodeni) i *verovatnoće* (koliki bi bili izgledi da se katastrofa desi, prema našoj najboljoj proceni uz uvid u trenutno raspoložive podatke). Korišćenjem prve dve promenljive možemo formirati kvalitativni dijagram različitih tipova rizika (slika 1.1). (Dimenzija verovatnoće mogla bi biti izložena duž z-ose kada bi dijagram bio trodimenzionalan.)

Obim rizika može biti *lični* (pogađa samo jednu osobu), *lokalni*, *globalni* (pogađa veliki deo ljudske populacije), ili *transgeneracijski* (pogađa ne samo trenutnu svetsku populaciju nego i sve buduće generacije). Intenzitet rizika može se klasifikovati kao *neprimetan* (jedva primetan), *izdrživ* (izaziva značajnu štetu ali ne uništava u potpunosti kvalitet života), ili *smrtonosan* (izaziva smrt ili trajno i



Slika 1.1 Kvalitativne kategorije rizika. Rizici globalne katastrofe u gornjem su desnom uglu dijagrama. Egzistencijalni rizici formiraju naročito ozbiljan podskup među njima.

drastično umanjenje kvaliteta života). U ovoj sistematizaciji, rizici globalne katastrofe zauzimaju četiri klase rizika visoke ozbiljnosti u gornjem desnom uglu: rizik globalne katastrofe je ili globalnog ili transgeneracionog obima, i izdrživog ili smrtonosnog intenziteta. Slika sugerira da se ose mogu produžiti tako da obuhvate još ekstremnije, konceptualno moguće rizike. Transgeneracioni rizici mogu sadržati potklasu tako destruktivnih rizika da bi njihova realizacija ne samo pogodila ili sprečila buduće generacije ljudi, nego bi takođe uništila potencijal našeg budućeg svetlosnog konusa da stvorimo inteligentna ili samovesna bića (ti su rizici označeni kao „kosmički“ na slici 1.1). S druge strane, prema mnogim teorijama vrednosti, postoje stanja koja su gora od nepostojanja ili smrti (na primer, trajni i ekstremni oblici ropstva ili kontrole uma), tako da bi, načelno, takođe moglo biti moguće produženje x-ose udesno (na slici 1.1 takva stanja označena su kao „užasna“).

Podskup rizika globalne katastrofe jesu *egzistencijalni rizici*. Egzistencijalni rizik je onaj koji preti da izazove istrebljenje inteligentnog života poreklom s planete Zemlje, ili da trajno i drastično¹ umanjii kvalitet njegovog života (u poređenju s onim što bi inače bilo moguće). Egzistencijalni rizici dele brojne specifične osobine i stoga zaslužuju posebno razmatranje. Na primer, pošto oporavak od egzistencijalnih rizika nije moguć, ne smemo dopustiti da se desi nijedna egzistencijalna katastrofa; nećemo imati priliku da učimo na iskustvu. Naš pristup upravljanju takvim rizicima mora biti proaktiv. Koliko bi egzistencijalna katastrofa bila gora od neegzistencijalne globalne katastrofe umnogome zavisi od sporih pitanja teorije vrednosti, a naročito od toga koliko vrednujemo živote mogućih, još nerođenih osoba.² Osim toga, u proceni egzistencijalnih rizika nailazi se na naročite metodološke probleme u vezi s posmatrački selekcionim efektima i potrebom da se izbegnu antropske neobjektivnosti. Jedan od motiva za pisanje ove knjige jeste stimulacija ozbiljnijih istraživanja egzistencijalnih rizika. Međutim, umesto da se okrenemo egzistencijalnom riziku, smatramo da bi bilo bolje položiti širi temelj za sistematsko razmišljanje o velikim rizicima uopšte.

Zamolili smo naše saradnike da procene rizike globalne katastrofe ne samo tako kao trenutno postojeće, već i kako bi se mogli razvijati tokom vremena. Vremenska dimenzija suštinski je važna za celovito razumevanje prirode izazova s kojima se suočavamo. Na primer, da bismo razmislili o rešavanju rizika od nuklearnog terorizma i nuklearnog rata, moramo razmotriti ne samo verovatnoću da će tokom iduće godine nešto krenuti naopako, nego i način na koji

¹ Bostrom, 2002, str. 381).

² Prema mnogim agregativnim konsekvenčialističkim etičkim teorijama, uključujući tu (ali se ne ograničavajući na) potpuni utilitarizam, može se pokazati da nalog *maksimizuj očekivanu vrednost!* bude uprošćen – za sve praktične svrhe – u nalog *minimizuj egzistencijalni rizik!* (Bostrom, 2003, str. 439). (Valja međutim zapaziti, da agregativne konsekvenčialističke teorije ugrožava problem paralize beskonačnosti [Bostrom, 2007, str. 730].)

će se rizici menjati u budućnosti, te faktore – kao što su povećano širenje relevantne tehnologije i fisionih materijala – koji će na njih uticati. Klimatske promene usled emisije gasova staklene bašte još uvek ne predstavljaju značajan rizik globalne katastrofe, niti će to biti u neposrednoj budućnosti (na vremenjskoj skali od nekoliko decenija); brinu nas, međutim, efekti ovih nagomilanih emisija tokom mnogo decenija ili čak vekova. Uz to, možda nije nevažno predvideti hipotetične rizike koji će se tek pojaviti ako, i kada, bude dostignut određeni tehnološki razvoj. Poglavlja o nanotehnologiji i veštačkoj inteligenciji primjeri su takve analize rizika u perspektivi.

U nekim slučajevima može biti značajno i proučavanje scenarija koji su fizički gotovo izvesno nemogući. Hipotetički rizik od eksperimenata sa sudaranjem čestica predstavlja dobar primer. Veoma je verovatno da ti eksperimenti nemaju nikakav potencijal za izazivanje globalnih katastrofa. Objektivan rizik verovatno je nula, što misli i većina stručnjaka. Ali koliko zaista možemo biti uvereni da nema objektivnog rizika? Ako nismo sigurni da ga nema, onda postoji rizik makar u subjektivnom smislu. Takvi subjektivni rizici mogu biti vredni ozbiljnog razmatranja, i mi ih uključujemo u našu definiciju rizika globalne katastrofe.

Često je teško načiniti razliku između objektivnih i subjektivnih (epistemičkih) rizika. Mogućnost sudara asteroida sa Zemljom deluje kao čist primer objektivnog rizika. Prepostavimo da nikakvog pozamašnog asteroida nema na putanji sudara s našom planetom u okviru izvesnog, dovoljno dugog vremenjskog intervala. Onda bismo mogli reći da u tom intervalu nema objektivnog rizika od katastrofe izazvane udarom asteroida. Naravno, nećemo znati da je to tako dok ne iscrtamo mape putanja svih potencijalno pretečih asteroida i dok ne budemo mogli da izračunamo sve, često haotične, poremećaje tih putanja. U međuvremenu moramo priznati da rizik od asteroida, čak i ako je potpuno subjektivan, samo odražava naše trenutno neznanje. Prazna pećina na sličan način može biti subjektivno nesigurna ako niste sigurni da li u njoj leži lav; i bilo bi racionalno izbegavati pećinu ako razumno procenite da očekivana šteta od ulaska i negativnog ishoda premašuje očekivanu korist.

U slučaju pretnje od asteroida, imamo pristup obilju podataka koji nam mogu pomoći da kvantifikujemo rizik. Možemo proceniti verovatnoću katastrofalnog sudara iz statistike prethodnih udara (na primer, pomoću podataka o kraterima) i osmatranjem uzoraka iz grupacije asteroida koji nam ne prete. Tako ovaj naročiti rizik podleže strogom naučnom istraživanju, a procene verovatnoće koje izvlačimo prilično su dobro ograničene čvrstim dokazima³.

³ Ponekad bi se moglo definisati nešto slično objektivnoj fizičkoj verovatnoći („izgledima“) za deterministički sistem, kao što je, na primer, uradeno u klasičnoj statističkoj mehanici, tako što bi se pretpostavilo da je sistem ergodički na odgovarajućem ogrubljuvanju svog faznog prostora. Ali važenje ergodičke hipoteze nije neophodno u opštem slučaju, jer postoje stoga ograničenja u pogledu dodeljivanja subjektivnih verovatnoća neizvesnim događajima u determinističkom sistemu. Na primer, ako imamo dobru statistiku koja seže duboko u prošlost i pokazuje da se neki događaj

Kod mnogih drugih rizika nedostaju nam podaci neophodni za strogo statističko zaključivanje. Takođe nam mogu nedostajati valjano potkrepljeni naučni modeli na kojima bi se mogle zasnivati procene verovatnoće. Na primer, ne postoji strog naučni način da se dodeli verovatnoća riziku ozbiljnog terorističkog napada biološkim oružjem koji bi se mogao desiti tokom naredne decenije. Niti možemo čvrsto ustanoviti da li rizik od uspostavljanja globalnog totalitarnog režima do kraja veka ima izvesnu preciznu meru. Kod takvih analiza rizika biće neizbežno u velikoj meri oslanjanje na argumente verodostojnosti, analogije i na subjektivnu procenu.

Mada treba dati prednost strožim metodima uvek kada su oni raspoloživi i primenjivi, bilo bi naučno pogrešno vezivati pažnju samo za one rizike čije provođanje zahteva složenu naučnu metodologiju⁴. Takva strategija vodila bi zanemarivanju mnogih rizika, uključujući i one najveće koji prete čovečanstvu. To bi takođe stvorilo lažno dvojstvo između dve vrste rizika – „naučnih“ i „spekulativnih“ – mada u realnosti postoji kontinuitet analitičkog izučavanja.

Zato smo se mi opredelili da mrežu zabacimo široko. Mada nam izbor tema nagnje ka manjim rizicima koji su bili predmet više naučnih studija, imamo raspon poglavlja koja dodiruju potencijalno velike, ali spekulativnije rizike. Broj strana dodeljen riziku ne bi, naravno, trebalo tumačiti kao meru koliko ozbiljno, po našem mišljenju, treba posmatrati rizik. U nekim slučajevima smatrali smo da poglavje treba posvetiti riziku koji se pokazao veoma malim, jer saznanje da je taj određeni rizik mali može biti korisno, a procedure koje su korišćene za izvođenje tog zaključka mogu poslužiti kao obrazac za buduće istraživanje rizika. Ne treba ni naglašavati da na sastav ovakve knjige takođe utiču mnoge nepredviđene okolnosti van kontrole urednika, a to znači da je prinudno izostavljeno više nego što je uključeno.⁵

Knjigu smo podelili u četiri deljka:

Prvi deo: Scena

Drugi deo: Rizici iz prirode

Treći deo: Rizici od neželjenih posledica

Četvrti deo: Rizici od neprijateljskih delovanja

dešava u proseku jednom u hiljadu godina, bez uočljivih trendova ili pravilnosti, onda imamo naučni razlog – ukoliko smo lišeni određenijih informacija – da dodelimo verovatnoću od ≈0,1% da će se događaj desiti iduće godine, bilo da stvarnu dinamiku sistema smatramo neodređenom, haotičnom, ili nekako drugačijom.

⁴ Naravno, kad se rasporeduje istraživački napor, opravdano je uzeti u obzir ne samo koliko je problem važan, nego i izglede da rešenje istraživanjem može biti pronađeno. Pijanac koji ključeve traži tamo gde je svetlo najjače nije nužno nerazuman; a naučnik koji uspe u nečem relativno nevažnom, može učiniti više dobra nego onaj ko je uzaludno pokušavao da uspe u nečem važnom.

⁵ Na primer, rizik od konvencionalnog rata ogromnih razmara pomenut je samo u prolazu, a sigurno bi zaslužio sopstveno poglavje u idealnije uravnoteženom rasporedu strana.

Potpodela na tri kategorije rizika izvršena je samo radi praktičnosti, a dodeljivanje rizika nekoj od tih kategorija često je prilično proizvoljno. Recimo zemljotresi, koji bi mogli da deluju kao paradigmatski rizici iz prirode. Naravno, zemljotres je prirodan događaj. On bi se dogodio i da nas nema. Zemljotresima upravljuju sile tektonskih ploča nad kojima ljudska bića trenutno nemaju kontrolu. Bez obzira na to, rizik koji predstavlja zemljotres umnogome je pitanje gradnje. Mesto gde podižemo zgrade i izbor njihove konstrukcije snažno utiču na događaje u slučaju zemljotresa date magnitude. Kad bismo svi živeli pod šatorima ili u zgradama koje mogu da izdrže zemljotres, ili kad bismo gradili gradove daleko od raselina i morskih obala, zemljotresi bi činili malo štete. Pogledamo li pažljivije, shvatićemo da je rizik od zemljotresa zajednički poduhvat prirode i čoveka. Ili, uzimimo paradigmatski rizik nastao čovekovim delovanjem kao što je nuklearno naoružanje. Opet bismo brzo otkrili da taj rizik nije nepovezan s nekontrolisanim prirodnim silama, kao što se to može činiti na prvi pogled. Ako eksplodira nuklearna bomba, na štetu koju ona nanosi značajno će uticati klimatski uslovi. Vetur, temperatura i padavine uticaće na raspored radioaktivnih padavina i izbijanje vatrene oluje; to su faktori koji čine veliku razliku u broju žrtava nastalih usled eksplozije. Nadalje, zavisno od toga kako je rizik definisan, on s vremenom može preći iz jedne kategorije u drugu. Na primer, rizik umiranja od gladi nekada je možda bio primarno rizik od prirodne katastrofe, kada su glavni uzročni faktori bile suše ili nestabilnost lokalne populacije lovina. U savremenom svetu glad postaje posledica propasti tržišta, ratova i društvenih potresa, odakle sledi da rizik danas bar isto toliko spada pod neželjene posledice i neprijateljska dela.

1.3 Prvi deo: Scena

Cilj ovog dela knjige jeste da obezbedi opšti kontekst i metodološke smernice za sistematsko i kritičko razmišljanje o rizicima globalne katastrofe.

Počinjemo od kraja, onako kako je, u poglavlju 2 Fred Adams obradio dugo-ročnu sudbinu naše planete, naše galaksije i kosmosa uopšte. Za oko 3,5 milijardi godina, pojačana svetlost Sunca u osnovi će Zemljinu biosferu učiniti sterilnom, ali je kraj složenog života na Zemlji predviđen nešto ranije, za možda 0,9–1,5 milijardi godina. To je neizbežna sudbina života na našoj planeti. Možemo se nadati, ako čovečanstvo i složena tehnološka civilizacija opstanu, da će davno pre toga naučiti da naseljavaju kosmos.

Ako neki kataklizmički događaj sutra uništi *Homo sapiensa* i druge više organizme na Zemlji, postoji još jedna prilika, u narednih približno milijardu godina, da evoluira nova inteligentna vrsta koja bi nastavila tamo gde smo mi stali. Za poređenje, bilo je potrebno oko 1,2 milijarde godina od pojave seksualne reprodukcije i jednostavnih višećelijskih organizama da biosfera evoluira do današnjeg stanja, a samo nekoliko miliona godina da naša vrsta evoluira od svojih

antropoidnih predaka. Naravno, ne postoje garancije da bi obnavljanje evolucije proizvelo išta slično čoveku ili neku samosvesnu vrstu koja bi ga nasledila.

Ako se inteligentni život proširi u kosmos zauzдавanjem tehnoloških sila, život vrste mogao bi postati ekstremno dug. Pa ipak, na kraju kosmos će se ugasiti. Poslednje zvezde prestaće da sijaju za najviše 100 biliona godina. Posle toga, sama materija će se raspasti na osnovne sastavne delove. Za 10^{100} godina čak će i najveće crne rupe ispariti. Naše sadašnje poimanje onoga što će se desiti na toj vremenskoj skali i posle nje, veoma je ograničeno. Trenutno najbolja pretpostavka – i ništa više od toga – glasi da nije samo tehnološki teško, već je i fizički nemoguće da se intelligentna obrada informacija nastavi nakon nekog ograničenog budućeg vremena. Ako je tako, nije pitanje hoće li doći do istrebljenja, nego kada.

Posle ovog pogleda u ekstremno daleku budućnost, poučno je okrenuti se i baciti kratak pogled u daleku prošlost. Neki prošli kataklizmički događaji ostavili su tragove u vidu geoloških zapisa. U poslednjih 500 miliona godina bilo je 15 masovnih izumiranja, a pet od njih eliminisalo je više od polovine svih vrsta koje su naseljavale Zemlju. Naročito je značajno izumiranje na granici perioda perma i trijasa, koje se dogodilo pre otprilike 251,4 miliona godina. Ova „majka svih masovnih pomora“, zbrisala je više od 90% svih vrsta i filogenetskih familija. Trebalо je da prode više od pet miliona godina za bar delimičan oporavak biološke raznolikosti.

Udari asteroida i kometa, kao i masivne vulkanske erupcije, bili su deo mnogih masovnih izumiranja u prošlosti. Drugi uzroci, kao što su varijacije u intenzitetu sunčeve svetlosti, mogli su u nekim slučajevima pogoršati postojeće rizične situacije. Izgleda da su sva masovna istrebljenja praćena atmosferskim i klimatskim efektima kao što su promene sastava atmosfere ili temperature. Međutim, razumno je zaključiti da i mi dugujemo svoje postojanje masovnim istrebljenjima. Konkretno, asteroidu ili kometi koja je pogodila Zemlju pre 65 miliona godina, za koju se veruje da je odgovorna za nestanak dinosaurusa, a to je mogao biti neophodan uslov za sledstveni uspon *Homo sapiensa*, jer je očišćen ekološki prostor koji su mogli zauzeti veliki sisari, uključujući tu i naše pretke.

Od svih vrsta koje su ikad hodale, puzale, letele ili plivale na našoj planeti, izumrlo ih je bar 99,9%. Nisu sve one eliminisane u kataklizmičkim događajima masovnog istrebljenja. Mnoge su podlegle manje spektakularnim usudima, kao što je takmičenje s drugim vrstama za isti ekološki prostor. Poglavlje 3 prikazuje mehanizme evolucione promene. Ne tako davno, naša vrsta živila je zajedno s bar još jednom vrstom hominida, Neandertalcima. Veruje se da su se loze *Homo sapiensa* i *Homo neanderthalensis* odvojile pre oko 800.000 godina. Neandertalci su izrađivali i koristili sastavljene alate, kao što su bile sekire. U Evropi nisu izumrli sve do pre 33.000 do 24.000 godina, a to se vrlo verovatno desilo kao direkstan rezultat konkurenциje s *Homo sapiensom*. Nedavno su na jednom indonežanskom ostrvu otkriveni ostaci koji bi mogli predstavljati još jednu vrstu

hominida, *Homo floresiensis* – koja je dobila nadimak hobit zbog niskog rasta. Veruje se da je *Homo floresiensis* živeo sve do pre oko 12.000 godina, mada ostaju nedoumice u pogledu tumačenja nalaza. Važna lekcija ovog poglavlja jeste da se izumiranje inteligentnih vrsta već događalo na Zemlji, što sugeriše da bi bilo naivno pomisliti kako ne može da se desi ponovo.

Iz prirodnjačke perspektive, nema ničeg nenormalnog u globalnim kataklizmama, uključujući tu i izumiranje vrsta, iako su karakteristični vremenski rasponi tipično veliki za ljudske standarde. Ali u poglavlju 4 Džejms Hjuz pojašnjava da ideja o kataklizmičkim završnicama često izaziva da u prvi plan izbije neobičan skup spoznajnih tendencija koje on naziva „milenijalističkim, utopijskim ili apokaliptičnim psihokulturalnim svežnjem, s karakterističnom dinamikom eshatoloških verovanja i ponašanja“. Milenijalistički impuls je pankulturalni. Hjuz pokazuje kako se on može naći pod mnogim maskama i s mnogim zajedničkim crtama od Evrope do Indije i Kine, tokom poslednjih nekoliko hiljada godina. „Mi možemo težiti čisto racionalnoj, tehnikočkoj analizi“, piše Hjuz, „mirno balansirajući moguće izglede bez bolesti, gladi, rada ili smrti s jedne strane, i izglede da svet bude razoren ratom, bolestima ili asteroidima, ali malo ko će ostati imun na milenijalističke predrasude, pozitivne ili negativne, fatalističke ili mesijanske“. Mada ove eshatološke crte mogu poslužiti legitimnim društvenim potrebama i pomoći u mobilizaciji za neophodnu akciju, one lako postaju disfunkcionalne i doprinose društvenoj pasivnosti. Hjuz zastupa stav da nam treba istorijski informisano i oprezno samoispitivanje, kako bismo zadržali pažnju na konstruktivnim naporima ka rešavanju istinskih izazova.

Čak je i iskrenom istraživaču, tragaocu za istinom s najboljim namerama, teško da razmišlja i ponaša se racionalno u pogledu rizika globalne katastrofe i egzistencijalnih rizika. To su teme na kojima je naročito teško ostati razuman. U poglavlju 5 Eliezer Jadkovski primećuje:

Značajno veći brojevi, kao recimo 500 miliona mrtvih, i naročito kvalitativno drugačiji scenariji, kao što je nestanak čitave ljudske vrste, izgleda da aktiviraju drugačiji način razmišljanja – i zalaže u „zasebnu oblast“. Ljudi koji ne bi ni u snu povredili dete, čuju o egzistencijalnom riziku i kažu: „Pa, možda ljudska vrsta zaista i ne zaslužuje da preživi“.

Na sreću, ako smo spremni da se suprotstavimo našim sklonostima i nagonima, onda nismo sasvim prepusteni sami sebi. Tokom poslednjih nekoliko decenija, psiholozi i ekonomisti razvili su obimnu empirijsku literaturu o mnogim zajedničkim sklonostima i heuristici koja se može opaziti u ljudskom poimanju. Jadkovski istražuje tu literaturu i primenjuje često uznemirujuća saznanja na oblast rizika velikih razmera, što je tema ove knjige. Njegova istraživanja pretresaju sledeće efekte: raspoloživost; sklonost naknadnom uviđanju; crne labudove; zabludu povezivanja; sklonost potvrdi; čvrsto ubedjenje, prilagođavanje i zagodenje; afektivnu heuristiku; zanemarivanje obima; kalibraciju i preteranu samouverenost; i apatiju posmatrača. Razumno je zahtevati od svakog ozbiljnog

saradnika u oblasti rizika globalne katastrofe i egzistencijalnih rizika – bio on istraživač, tehnolog ili politički i ekonomski savetnik – da poznaje svaki navedeni efekat, a svi bismo morali da razmislimo o tome kako oni mogu da izobliče naše procene.

Antropska neobjektivnost (engl. *anthropic bias*) još jedna je vrsta zamke u rezonovanju koju valja izbeći. Ona se razlikuje od opštih spoznajnih neobjektivnosti koje je opisao Jadkovski. Po prirodi je više teoretska i ima užu primenu samo na izvesne specifične vrste zaključivanja. Antropska neobjektivnost pojavljuje se kada previdimo relevantne posmatračke selekcione efekte. Posmatrački selekpcioni efekti javljaju se kad naše iskustvene činjenice „filtrira“ preduslov povezan s prirodnom samog posmatrača i njegovom metodologijom; proishodi situacija u kojoj naši empirijski rezultati – posmatranja ili rezultati eksperimentata – ne predstavljaju reprezentativni uzorak iz ciljane oblasti. Kad se selekpcioni efekti ne obrade na odgovarajući način, to može dovesti do ozbiljnih grešaka u našim procenama verovatnoće za rizike relevantnih teorija. U poglavlju 6 Milan Ćirković daje pregled nekih primena teorije selekpcionih efekata koje se odnose na rizike globalne katastrofe, naročito na egzistencijalni rizik. Neke od ovih primena prilično su jednostavne, ali nisu uvek očigledne. Na primer, moramo se odupreti zavodljivom zaključku da određene klase katastrofa moraju biti veoma malo verovatne zato što se nisu desile nikad u istoriji naše vrste, čak ni u istoriji života na Zemlji. Nas ograničavaju mesto i pripadnost jednoj od onih inteligentnih vrsta koje još nisu uništene, bez obzira na to jesu li katastrofe uništenja planeta ili vrsta retke ili nisu: alternativnu mogućnost – da je *naša* planeta uništena i *naša* vrsta izumrla – ne bi bilo moguće posmatrati po definiciji. Druge primene antropskog rasuđivanja – kao što je Karter–Leslijev „argument sudnjeg dana“ – sporne su vrednosti, naročito u generalizovanim oblicima, ali ih uprkos tome vredi poznavati. U pojedinim primenama, kao što je simulacioni argument, otkrivaju se iznenađujuća ograničenja u našim koherentnim prepostavkama o budućnosti čovečanstva i našem mestu u svetu.

Ima profesionalnih zajednica koje se svakodnevno bave procenom rizika. Naredna dva poglavlja predstavljaju respektivne poglede iz discipline sistemskog inženjeringu i industrije osiguranja.

U poglavlju 7 Jakov Hejms ističe izvesne fleksibilne strategije za organizovanje našeg mišljenja o promenljivima rizika u projektima izgradnje složenih sistema. Kakvo znanje je potrebno da bi se donosile valjane odluke u upravljanju rizikom? Odgovor na ovo pitanje, kaže Hejms, „obavezuje na traganje za ‘istinom’ o nepojamno složenoj prirodi nastupajućih sistema; iziskuje stvaraoce modela intelektualno oslobođene predrasuda i mislioce koji su ovlašćeni da eksperimentišu s mnoštvom pristupa modelovanju i simulaciji, i da sarađuju na odgovarajućim rešenjima“. Hejms tvrdi da organizacija analize u vezi s očekivanim merom rizika može biti preterano ograničavajuća. Ljudi koji donose odluke skloniji su finijem razlaganju rizika koje im dopušta da zasebno razmatraju

verovatnoću ishoda u različitim rasponima ozbiljnosti, uz korišćenje onoga što Hejms naziva metoda deljenog višeciljnog rizika.

U poglavlju 8 Piter Tejlor istražuje veze između industrije osiguranja i rizika globalne katastrofe. Osiguravajuće kompanije pomažu pojedincima i organizacijama da ublaže finansijske posledice rizika, u suštini dopuštajući da se rizicima može trgovati i da se oni mogu deliti. Piter Tejlor tvrdi da je domet u okviru koga se rizici globalne katastrofe mogu privatno osigurati ozbiljno ograničen, što zavisi od njihovog obima i tipa.

Mada kompanije za osiguranje i reosiguranje pridaju relativno malu pažnju rizicima globalne katastrofe, one su nakupile znatno iskustvo s manjim rizicima. Neki od upotrebljenih koncepata i metoda mogu se primeniti na rizike bilo kog reda veličine. Tejlor ističe važnost koncepta *neizvesnosti*. Naročiti stohastički model fenomena u određenoj oblasti (kao što su zemljotresi) može zahtevati određene raspodele verovatnoće za moguće ishode. Međutim, pored izglednosti opisane u modelu, moramo prepoznati još dva izvora neizvesnosti. Obično postoji neizvesnost u pogledu vrednosti parametara koje unosimo u model. Neizvesnost postoji i u vezi s tim da li model koji koristimo zaista tačno opisuje fenomen iz ciljne oblasti. Te neizvesnosti visokog stepena često nije moguće analizirati strogo statistički. Analitičari koji streme objektivnosti i od kojih se očekuje da izbegnu stvaranje „neizvesnih“ prepostavki koje ne mogu opravdati, suočavaju se sa iskušenjem da odbace te subjektivne neizvesnosti. Ali takva „nauka“ može dovesti do katastrofalno pogrešnih procena. Tejlor tvrdi da su izobličenja često najveća na krajevima krivih prekoračenja verovatnoće, što navodi na potcenjivanje rizika od ekstremnih događaja.

Tejlor takođe izveštava o dva nedavna istraživanja opaženog rizika. Jedno od njih izvela je kompanija Swiss Re 2005. godine: direktori multinacionalnih kompanija zamoljeni su da opišu koji ih rizici po njihovo finansijsko poslovanje najviše brinu. Rizici povezani s računarima imali su najviši prioritet, a pratili su ih rizici spoljne trgovine, korporativnog upravljanja, funkcionisanja/postrojenja i odgovornosti. Prirodni rizici našlu su se na sedmom mestu, a terorizam na desetom. Izgleda da, bar što se tiče finansijskih rizika po pojedinačne korporacije, rizici globalnih katastrofa padaju u drugi plan pred neposrednjim i usko fokusiranim poslovnim hazardima. Slično ispitivanje, ali šireg obima, svake godine izvodi Svetski ekonomski forum. Izveštaj Forum-a o globalnom riziku iz 2007. godine klasifikovao je rizike po izglednosti i ozbiljnosti, na osnovu mišljenja prikupljenih među poslovnim liderima, ekonomistima i akademnicima. Rizici su procenjivani u vremenskom rasponu od deset godina. Dva rizika su dobila rejting ozbiljnosti „veći od 1 biliona američkih dolara“, i to slom vrednosti materijalnih dobara (10–20%) i odustajanje od globalizacije (1–5%). Kad je ozbiljnost merena ljudskim žrtvama umesto ekonomskim gubicima, tri najteža rizika bila su pandemije, bolesti u zemljama u razvoju i međudržavni i građanski rat. (Nažalost, nekoliki rizici u ovom istraživanju bili su slabo definisani, što je otežalo tumačenje mišljenja iz izveštaja, a pouka glasi: ukoliko neko želi da dodeli

verovatnoću rizicima ili da ih rangira prema ozbiljnosti ili izglednosti, nephodan prvi korak mora biti jasna definicija rizika koje treba proceniti.⁶)

Deo ove knjige pod nazivom Scena završava se raspravom Ričarda Poznera o nekim izazovima javne politike i prava, u poglavlju 9. Pozner zapaža da akciju koju sprovodi država u cilju umanjenja rizika globalne katastrofe često ometa kratkovidost u odlučivanju političara koji imaju ograničene mandate, kao i mnogi konkurenčni zahtevi koji okupiraju njihovu pažnju. Štaviše, ublažavanje rizika globalne katastrofe često je skupo i može da stvori problem besplatnog korišćenja. Manje i siromašnije države mogu odugovlačiti u nadi da će imati besplatne koristi uz one veće i bogatije. Zauzvrat, bogatije države mogu da se suzdržavaju zato što nerado nagrađuju besplatne korisnike.

Pozner takođe obrađuje nekoliko specifičnih slučajeva, uključujući tu cunamije, udare asteroida, bioterorizam, eksperimente s akceleratorima, globalno zagrevanje, i razmatra neke implikacije koje ovi rizici imaju na javnu politiku. Mada stroge analize tipa cena–troškovi nisu uvek moguće, svejedno je važno pokušati da se kvantifikuje verovatnoća, potencijalna šteta i troškovi različitih mogućih kontramerata, kako bi se odredili prioriteti i optimalna strategija za ublažavanje. Prema Pozneru, kada nije moguće precizno odrediti verovatnoću nekog rizika, ponekad može biti korisno razmotriti – u vidu grube heuristike – „podrazumevanu verovatnoću“ iskazanu kroz tekuće troškove uložene u nastojanja da se ublaži šteta koji su upoređeni s veličinom štete koja bi nastala ako bi se katastrofa dogodila. Na primer, ukoliko trošimo milion dolara godišnje da ublažimo rizik koji bi napravio milijardu dolara štete, možemo proceniti da trenutna politika implicitno pretpostavlja kako je godišnji rizik katastrofe reda 1:1000. Ako ova implicitna verovatnoća deluje premala, to može biti znak da ne trošimo dovoljno na ublažavanje.⁷ Pozner zaključuje da svet zaista premalo ulaže u ublažavanje od nekoliko rizika globalne katastrofe.

1.4 Drugi deo: Rizici iz prirode

Istorijski nedavne vulkanske erupcije imale su merljive efekte na globalnu klimu, izazivajući globalno hlađenje za nekoliko desetih stepena, i taj

⁶ Na primer, rizik „hronične bolesti u zemljama razvijenog sveta“ definisan je kao „širenje gojaznosti, dijabetesa i kardiovaskularnih bolesti; porast troškova u zdravstvu; porast otpornosti bakterija koje izazivaju zaraze; učestale kolektivne tužbe i izbegavanje bolnica“. Prema većini standarda, gojaznost, dijabetes i kardiovaskularne bolesti već jesu rasprostranjeni. Koliko bi trebalo da porastu troškovi zdravstva da bi se zadovoljio kriterijum? Možda neće biti moguće prosuditi je li ova definicija ispunjena čak i kad se saznaju činjenice i uz olakšicu naknadnog uvida.

⁷ Ova heuristika namenjena je samo kao prvi napad na problem. Ona očigledno nije opšteprimenjiva. Na primer, ako je milion dolara dovoljno da se preduzmu sve moguće mere predostrožnosti, nema razloga trošiti više na rizik, čak i kada mislimo da je verovatnoća mnogo veća od 1:1000. Pažljivija analiza bi uzela u razmatranje marginalne dobitke od ulaganja u smanjenje rizika.

efekat trajao je otprilike godinu dana. Ali, kako Majkl Rampino objašnjava u poglavlju 10, te erupcije blede u poređenju s najvećim zabeleženim erupcijama u geološkoj istoriji. Pre otprilike 75.000 godina, eksplodirao je vulkan u Tobi, u Indoneziji, bljujući ogromne količine finog pepela i aerosola u atmosferu, a efekti tog procesa uporedivi su sa scenarijima nuklearne zime. Temperature na kopnu pale su otprilike 5–15 °C, površina okeana ohladila se \approx 2–6 °C što to je moglo da traje nekoliko godina. Zadržavanje značajne količine čadi u atmosferi tokom 1–3 godine verovatno je bilo uzrok hlađenja klime i to je možda potrajal decenijama (razlog su klimatske povratne sprege kao što su povećanje snežnog pokrivača i leda u moru koji reflektuju više sunčeve svetlosti nazad u kosmos). Ljudska populacija je u to vreme izgleda prošla kroz usko grlo, padajući prema nekim procenama na samo \approx 500 plodnih žena i ukupnu svetsku populaciju od svega 4000 individua. Prema teoriji katastrofe u Tobi, pad populacije izazvan je supererupcijom i ljudska vrsta našla se na rubu izumiranja. To je verovatno najgora katastrofa koja je zadesila ljudsku vrstu, bar ukoliko bi se njena ozbiljnost merila blizinom fatalnog ishoda.

Tokom poslednjih 20 miliona godina identifikovano je više od 20 ovakvih supererupcija. To ukazuje da se u proseku supererupcija dešava bar jednom u 50.000 godina. Međutim, moguće je da je bilo i drugih supererupcija koje još nisu identifikovane u geološkim tragovima.

Globalna šteta od supervulkanizma uglavnom bi poticala iz njegovih klimatskih efekata. Vulkanska zima koja bi sledila nakon takve erupcije izazvala bi pad poljoprivredne proizvodnje koji bi mogao dovesti do masovne gladi i posledičnih društvenih potresa. Rampinova analiza uticaja supervulkanizma takođe je relevantna i za rizike nuklearnog rata i udara asteroida ili meteora. Bilo šta od ovoga izazvalo bi izbacivanje čadi i aerosola u atmosferu i hladniju zemaljsku klime.

Iako nema načina da sprecimo supererupciju, postoje mere predostrožnosti koje bi mogle ublažiti njene uticaje. Trenutne globalne rezerve ekvivalentne su dvomesecnom snabdevanju žitaricama. U slučaju supervulkanske katastrofe, sezone uzgoja mogle bi biti ograničene nekoliko godina. Veće zalihe žitarica i ostalih prehrambenih proizvoda, iako skupe za održavanje, obezbedile bi ublažavanje čitavog niza scenarija katastrofe koji uključuju privremeno smanjenje poljoprivredne proizvodnje.

Od svih rizika globalne katastrofe možda je najbolje razumeti hazarde od kometa i meteora (što ne znači da i dalje ne ostaju značajne nepoznanice u ovoj oblasti). U poglavlju 11 Vilijam Nejpier objašnjava naučnu pozadinu hazarda udara: odakle dolaze komete i asteroidi, koliko često se udari dešavaju i kakvi bi bili efekti udara. Da bi proizvelo događaj koji bi ugrozio civilizaciju, udarno telo moralо bi imati prečnik od bar 1 do 2 kilometra. Udarno telо od 10 kilometara imalo bi velike šanse da izazove nestanak ljudske vrste. Ali čak bi i udarna tela ispod kilometra mogla da nanesu štetu koja doseže nivo globalne katastrofe, zavisno od sastava, brzine, ugla i mesta udara.

Nejpier procenjuje da je „hazard udara po glavi stanovnika na nivou koji se povezuje s hazardima od putovanja avionom i sličnim“. Međutim, sredstva koja

se izdvajaju za ublažavanje hazarda oskudna su u poređenju sa sredstvima koja se izdvajaju za bezbednost letenja. Trenutno su u projektu *Kosmički čuvan* oličeni glavni napor da se definiše reakcija na hazard udara. Za taj projekat NASA godišnje izdvaja četiri miliona dolara, a tu je i nekoliko ljubaznih i dobrovoljnih dodatnih novčanih doprinosa. Cilj *Kosmičkog čuvara* je da nađe 90% asteroida bliskih Zemlji, većih od jednog kilometra, do kraja 2008. godine. Asteroidi su najveća pretnja od Zemlji bliskih objekata (i lakše ih je otkriti nego komete), pa će, kada projekt bude završen, subjektivna verovatnoća velikog sudara morati da bude znatno umanjena – ukoliko se, naravno, ne otkrije da neki asteroid ima zakazan sudar s našom planetom u bliskoj budućnosti, a u tom slučaju verovatnoća bi probila plafon.

Obavljena su izvesna preliminarna istraživanja o tome kako bi potencijalno rizično telo moglo biti skrenuto sa sudsarne putanje. Pod uslovom da upozorenje stigne dovoljno rano, izgleda da bi bilo moguće razviti kosmičku tehnologiju neophodnu za skretanje asteroida. Troškovi proizvodnje efikasne odbrane od asteroida bili bi mnogo veći od troškova traganja za potencijalnim udarnim telima. Međutim, ako bi se otkrilo da je kosmička kugla za rušenje civilizacije u zamahu ka Zemlji, svaki trošak bio bi opravdan da se ona skrene pre nego što udari.

Asteroidi i komete nisu jedine potencijalne globalne katastrofičke pretnje iz kosmosa. Drugi kosmički hazardi obuhvataju globalne klimatske promene usled fluktuacija sunčeve aktivnosti, i veoma velikih tokova radijacije i kosmičkih zraka od eksplozija supernovih ili gama-bleskova. Pregled ovih rizika dao je u poglavlju 12 Arnon Dar. Nalazi ovih rizika su povoljni: izgleda da su oni veoma mali. Čini se da ništa konkretno trenutno ne treba preduzimati osim nastaviti bazična istraživanja.⁸

1.5 Treći deo: Rizici od neželjenih posledica

Klimatske promene smo već upoznali – u obliku iznenadnog globalnog hlađenja – kao destruktivne modalitete supererupcija i velikih udara (i moguće posledice nuklearnog rata velikih razmera, što će biti razmatrano kasnije). Pa ipak, poslednjih godina maštu javnosti najjače je zaokupio rizik postepenog globalnog zagrevanja usled emisija gasova staklene bašte. Antropogenske klimatske promene postale su oličenje globalnih pretnji. Globalno zagrevanje privlači neproporcionalan deo pažnje koja se poklanja globalnim rizicima.

Ugljendioksid i drugi gasovi staklene bašte akumuliraju se u atmosferi odašte očekivano izazivaju zagrevanje zemljine klime i porast nivoa mora. U najnovijem izveštaju Međuvladinog panela o klimatskim promenama (IPCC

⁸ Opsežan pregled kosmičkih hazarda obuhvatio bi takođe i scenarije koji uključuju kontakt s inteligentnom vanzemaljskom vrstom, ili zarazu hipotetičkim vanzemaljskim mikroorganizmima; međutim, ovi rizici izlaze van opsega poglavlja 12.

– *Intergovernmental Panel on Climate Change*), u kome su predstavljene procene najautoritativnijih naučnika današnjice, nastoji se da se proračuna porast prosečne globalne temperature koja se može očekivati do kraja veka, pod pretpostavkom da nisu preduzeti nikakvi pokušaji da se ublaži rizik. U konačnoj oceni ima obilja neizvesnosti, jer se ne zna sa sigurnošću kolika će biti podrazumevana stopa emisije gasova staklene baštne do kraja veka, nisu posve jasni parametri klimatske osjetljivosti, a neizvesni su i mnogi drugi faktori. Stoga IPCC izražava svoju procenu kroz šest različitih klimatskih scenarija zasnovanih na različitim modelima i pretpostavkama. U „niskom“ modelu predviđa se globalno zagrevanje od +1,8 °C (raspon neizvesnosti 1,1–2,9 °C); u „visokom“ modelu predviđa se zagrevanje od +4 °C (2,4–6,4 °C). Procenjeni porast nivoa mora koji je predviđen u dva najekstremnija scenarija od šest razmatranih, iznosi 18–38 cm, odnosno 26–59 cm.

U poglavlju 13, čiji su autori Dejvid Frejm i Majls Alen, sažete su neke naučne osnove u pozadini klimatskog modelovanja, s posebnim osvrtom na scenarije niske verovatnoće, ali velike destruktivnosti, koji su najznačajniji segment ove knjige. Upravo taj raspon scenarija daje najveći razlog za zabrinutost. Iako su veoma mali izgledi da se oni ostvare, značajna neizvesnost i dalje prožima naše shvatanje o tome kako deluju različite moguće povratne sprege koje bi se mogle aktivirati usled očekivanog nasilja nad klimom (pri čemu treba imati na umu i ranije navedenu poentu Pitera Tejlora o tome da je bitno uzeti u obzir neizvesnosti parametara i modela). Frejm i Alen takođe razmatraju politiku ublažavanja. Oni ističu teškoće u definisanju odgovarajućih ciljeva ublažavanja uz date neizvesnosti u vezi s tim koji bi nivo kumulativnih emisija mogao predstavljati „opasno antropogensko mešanje“ u klimatski sistem.

U poglavlju 14 Edvin Kilburn daje pregled pojedinih istorijski važnih pandemija, uz pominjanje naročitih karakteristika s njima povezanih patogena, te razmatra faktore koji će odrediti širinu i posledice budućih epidemija.

Tokom istorije, zarazne bolesti uzele su ljudskoj vrsti ogroman danak u patnji i smrti, a nastavljaju to da čine i danas. Približno 25% svih žrtava širom sveta danas strada od zaraznih bolesti, što iznosi oko 15 miliona žrtava godišnje. Oko 75% tih žrtava umire u jugoistočnoj Aziji i podsaharskoj Africi. Pet najčešćih uzroka smrti od zaraznih bolesti jesu infekcije gornjih disajnih organa (3,9 miliona žrtava), HIV/AIDS (2,9 miliona), crevne bolesti (1,8 miliona), tuberkuloza (1,7 miliona) i malarija (1,3 miliona).

Pandemijska bolest bez pogovora je jedan od najvećih rizika globalne katastrofe s kojima se svet danas suočava, ali mu se ne pruža uvek dužna pažnja. Na primer, u sećanju i percepciji najvećeg broja ljudi na svetu, pandemiju gripa iz 1918–1919. godine potpuno je zasenio vremenski blizak Prvi svetski rat. Ipak, procene kažu da je Prvi svetski rat odneo 10 miliona vojnih i 9 miliona civilnih žrtava, a veruje se da je španski grip ubio najmanje 20–50 miliona ljudi. Relativno nizak „faktor straha“ povezan s ovom pandemijom verovatno leži u činjenici da je svega 2–3% onih koji su oboleli i umrli od te bolesti. (Ukupan broj žrtava je ogroman zato što je bio zaražen visok procenat svetskog stanovništva.)

Pored borbe s najvećim zaraznim bolestima koje trenutno opterećuju svet, vitalno je važno biti i dalje oprezan zbog nastupajućih novih bolesti s pandemij-skim potencijalom, kao što su SARS, ptičji grip i tuberkuloza koje su otporne na lekove. Svetska zdravstvena organizacija (WHO – *World Health Organization*) i mreža laboratorijske koje s njom sarađuju iznova pokazuju da odlučna preventivna akcija može ponekad saseći u korenzu započelu pandemiju i tako verovatno spasiti milione života.

Izabrali smo da obeležimo pandemije kao „rizik od nepoželjnih posledica“ iako najveći broj zaraznih bolesti (izuzimajući genetički stvorena biološka oružja i njihovu sposobnost da dovedu do tih posledica) u izvesnom smislu potiče iz prirode. Naš razlog je taj što evolucija, kao i širenje patogena, veoma zavise od ljudske civilizacije. Nakon što su svi naseljeni kontinenti povezani putnim pravcima, postalo je moguće širenje klica po celom svetu. Do danas, globalizacija u obliku putovanja i trgovine dospila je takav nivo da se visokozarazne bolesti mogu raširiti do gotovo svih delova sveta za nekoliko dana ili nedelja. Kilburn takođe skreće pažnju na još jedan aspekt globalizacije kao faktora rastućeg rizika od pandemije: homogenizacija naroda, običaja i kultura. Što je ljudska populacija homogenija, utoliko je veći potencijal da jedan patogen dostigne brzo zasićenje. Kilburn pominje „sindrom jedne pokvarene jabuke“, koji proizlazi iz masovne proizvodnje hrane i ujednačenih navika u ponašanju:

Ako jedan zaraženi sastojak, jabuka, jaje ili list spanaća nosi milijardu bakterija – a to nije nerazumno procena – pa on uđe u mešavinu sastojaka za kolače koji se onda pakuju i šalju milionima mušterija širom države, može izbiti zapanjujuća epidemija.

I obrnuto, kulturna kao i genetička raznolikost smanjuje izglede da će se samo jedan uzorak univerzalno raširiti pre nego što se otkrije da je opasan – bilo da je to uzorak RNK virusa, opasna nova hemikalija, materijal ili reprezivna ideologija.

Nasuprot pandemijama, veštačka inteligencija (VI) nije ni trenutni ni neposredni rizik globalne katastrofe. Ali nije sporno ni da je to ozbiljan razlog za zabrinutost. Međutim, iz dugoročne perspektive, razvoj opšte veštačke inteligencije koja nadmašuje ljudski mozak može se smatrati jednim od glavnih izazova za budućnost čovečanstva (verovatno čak i *glavnim* izazovom). Istovremeno, uspešan razvoj prijateljske superinteligenčije mogao bi da otkloni mnoge druge rizike s kojima se čovečanstvo suočava. Naslov poglavlja 15., „Veštačka inteligencija kao pozitivan i negativan faktor u globalnom riziku“, odražava ovaj ambivalentni potencijal.

Jadkovski primećuje da je teško analizirati perspektivu razvoja superinteligentnih mašina i raspravljati na tu temu. Shodno tome, značajan deo svog poglavlja posvećuje razjašnjenu uobičajenih zabluda i prepreka razumevanju. On, povrh toga, daje argumente za ozbiljno razmatranje mogućnosti da bi radikalna superinteligenčija mogla da se pojavi veoma naglo – scenario koji se ponekad naziva

teorija singulariteta (engl. *singularity hypothesis*). Tvrđnje o brzini prelaza moraju se razlučiti od tvrdnji o vremenu njenog nastanka. Neko može verovati, na primer, da će proći još mnogo vremena dok računari ne dostignu opšte mogućnosti rezonovanja prosečnog ljudskog bića. Ali kada se to desi, biće potreban samo kratak period da računari postignu radikalno nadljudske nivoe.

Jadkovski predlaže da superinteligenčiju začnemo kao jedan enormno moćan postupak optimizacije: „sistem koji postiže male ciljeve u velikim prostorima istraživanja, kako bi proizveo povezane realne efekte“. Superinteligenčija će biti sposobna da manipuliše svetom (pa i ljudskim bićima) na takav način da ostvari svoje ciljeve, ma kakvi oni bili. Da bi se izbegla katastrofa, biće neophodno obezbediti da superinteligenčija bude obdarena sistemom „prijateljskih“ ciljeva to jest, sistemom koji usklađuje svoje ciljeve sa istinskim ljudskim vrednostima.

Jadkovski ukazuje na dva različita načina neuspešne ugradnje „prijateljstva“ u našu veštačku inteligenčiju: filozofski neuspeh i tehnološki neuspeh. Upozorenje na filozofski neuspeh u osnovi se svodi na to da moramo biti pažljivi u onome što želimo, jer to možemo i dobiti. Možemo našoj veštačkoj inteligenčiji odrediti cilj, što na prvi pogled deluje kao lep ishod, ali on, zapravo, može biti radikalno pogrešan ili moralno bezvredan. Upozorenje na tehnološki neuspeh povezano je s mogućim propustom da dobijemo ono što želimo zbog pogrešne implementacije sistema ciljeva ili zbog neželjenih posledica načina na koji je određeno predstavljanje cilja. Po Jadkovskom, oba ova moguća neuspeha veoma su ozbiljni egzistencijalni rizici. On zaključuje da je neophodno pronaći način da se ugradi „prijateljstvo“ u superinteligenčiju pre nego što shvatimo kako čemo je sastaviti.

U poglavlju 16 raspravlja se o mogućnosti da eksperimenti koje izvode fizičari u akceleratorima čestica postanu egzistencijalni rizik. Zabrinutost u vezi s takvim rizicima podstakao je direktor Relativističkog sudarača teških jona u Brukhejvenu kada je zatražio zvaničan izveštaj 2000. godine. Zabrinutost je ponovo izbila na površinu s izgradnjom moćnijih akceleratora, kao što je CERN-ov Veliki hadronski sudarač. Oslanjajući se na izveštaj iz Brukhejvena, Frenk Vilcek razlikuje tri scenarija katastrofe:

1. Obrazovanje minijaturnih crnih rupa koje bi mogle početi da sakupljaju okolnu materiju, i da na kraju progutaju čitavu planetu.
2. Obrazovanje stabilnih *strejndžleta* (engl. *strangelet*), tj. gromuljica egzotične čudne materije negativnog naboja koji bi mogli postati katalizator konverzije svekolike obične materije na našoj planeti u egzotičnu materiju.
3. Otpočinjanje faznog prelaza u vakuumu, koji bi se širio spolja u svim smerovima brzinom bliskom svetlosnoj i uništio bi ne samo našu planetu, već i čitav dostupan deo kosmosa.

Vilcek tvrdi da su ovi scenariji, na različitim teoretskim temeljima, neizmerno malo verovatni. Pored toga, postoji i opštiji argument koji manje zavisi

od volšebne teorije sa istim zaključkom. Kosmički zraci često imaju znatno više energije od one koja će biti dostignuta u bilo kom od planiranih akceleratora. Ti zraci su bombardovali zemljinu atmosferu (i Mesec i druge astronomске objekte) milijardama godina bez ijednog opaženog katastrofičnog efekta. Pretpostavljajući da se sudari u akceleratorima čestica ne razlikuju u bilo kom relevantnom pogledu od onih koji se dešavaju u spoljnoj sredini, možemo biti veoma sigurni u bezbednost naših akceleratora.

Prema opštem mišljenju vrlo je neverovatno da će eksperimenti sa ubrzavnjem čestica izazvati egzistencijalnu katastrofu. Pitanje je *koliko* neverovatno? I šta bi predstavljalo ‘prihvatljuvu’ verovatnoću egzistencijalnog rizika? U proceni verovatnoće moramo razmotriti ne samo koliko neverovatno ishod izgleda uz korišćenje naših trenutno najboljih modela, već i mogućnost da naši najbolji modeli i proračuni mogu biti pogrešni na neki još nepoznat način. U tom poslu moramo se čuvati sklonosti ka preteranoj samouverenosti (uporediti Poglavlja 5 i 6 o neobjektivnostima). Ukoliko sami nismo tehnički stručni, moramo takođe uzeti u obzir mogućnost da stručnjaci na čije se ocene mi oslanjamо, mogu sve-sno ili nesvesno imati neobjektivnosti⁹. Na primer, fizičari koji imaju dovoljno stručnosti da procenjuju rizike od eksperimenata s fizikom čestica, deo su profesionalne zajednice koja ima direktnu korist od unapređenja eksperimenata. Laik bi se mogao zabrinuti da stručnjaci zavedeni podsticajima kojima su izloženi, mogu pogrešiti u smeru potcenjivanja rizika¹⁰. Nasuprot tome, neki stručnjaci bi mogli pasti u iskušenje medijske pažnje precenjivanjem rizika. Pitanje koliko i pod kojim uslovima verovati stručnim procenama rizika, veoma je važno i pojavljuje se sasvim uopšteno kod mnogih rizika opisanih u ovoj knjizi.

Poglavlje 17 (Robina Henson) iz Trećeg dela o rizicima od neželjenih posledica, fokusira se na društveni slom kao multiplikator razaranja nastalih usled drugih katastrofa. Henson piše sledeće:

Glavni razlog opreza dok hodate uz stepenište nije strepnja da se možete okliznuti i vratiti na prethodni stepenik, nego da bi vaše klizanje moglo izazvati drugo klizanje i pad preko niza stepenika pri čemu biste mogli polomiti vrat. Na sličan način zabrinuti smo zbog niza katastrofa koje istražuje ova knjiga, ne samo zbog direktnih efekata, nego i zbog izazivanja još štetnijeg sloma naših ekonomskih i društvenih sistema.

⁹ Čak i ako smo sâmi stručnjaci, i dalje moramo biti na oprezu prema nesvesnim sklonostima koje mogu uticati na naše rasudivanje (npr. antropski efekti, videti poglavljje 6).

¹⁰ Ako stručnjaci predvide da javnost neće sasvim verovati njihovim umirivanjima, mogli bi pokušati da deluju još overljivije nego što bi to moralili da je javnost prihvatiла njihove tvrdnje iz prve ruke. Javnost, zauzvrat, može odgovoriti odbacujući stručne ocene još jače, dovodeći stručnjake do situacije u kojoj će se još više kloniti raspaljivih, alarmantnih preterivanja. Na kraju, stručnjaci mogu biti nevoljni da priznaju bilo kakav rizik iz straha da će to izazvati histeričnu javnu reakciju. Efikasna komunikacija o rizicima je škakljiv posao, a poverenje koje je u njemu neophodno teško se stiće i lako gubi.

Ovaj argument ne važi samo za rizike koje smo dosad razmatrali, kao što su oni od akceleratora čestica ili rizici od superinteligencije kako ih je predvideo Jadkovski. U tim slučajevima možemo biti ili sasvim bezbedni ili svi zajedno osuđeni, s vrlo malo izgleda za srednje ishode. Ali za mnoge druge tipove rizika – kao što su olujni vetrovi, tornada, zemljotresi, poplave, šumski požari, teroristički napadi, bolesti i ratovi – moguće je širok spektar ishoda, a potencijal za društvene nemire ili čak društveni slom čini najveći deo ukupnog hazarda. Henson primećuje da mnogi pomenuti rizici izgleda prate raspodelu po stepenom zakonu. Zavisno od karakterističnog eksponenta takve stepene raspodele, najveći deo štete očekivane od datog tipa rizika može se sastojati od čestih malih nezgoda ili od retkih velikih katastrofa. Na primer, saobraćajne nesreće imaju veliki eksponent koji odražava činjenicu danajveći broj žrtava u saobraćaju strada u brojnim malim nesrećama koje uključuju jedno ili dva vozila. Ratovi i bolesti, nasuprot tome, imaju naizgled male eksponente, što znači da se najveći deo očekivane štete dešava u vrlo retkim ali vrlo velikim sukobima i pandemijama.

Posle uvodnog dela o teoriji ekonomskog rasta, Henson razmatra njegove ekstremne strane: iznenadno smanjenje proizvodnje nastalo rastućim razaranjem društvenog kapitala i koordinacije. Na primer, „sudija koji u normalnim okolnostima ne bi razmatrao uzimanje mita, može to učiniti ako mu je ugrožen život i tako dopustiti drugima da se nadaju kako će se lakše izvući iz krađe, što vodi tome da drugi izbegavaju investicije tamo gde se može ukrasti, i tako dalje. Takođe, ljudi mogu prestati da veruju bankama ili čak papirnom novcu, sprečavajući tako te institucije da funkcionišu.“

Proektivnost svetske ekonomije zavisi i od obima, te od mnogih različitih oblika kapitala koji moraju biti delikatno koordinisani. Trebalo bi da nas zabrine to što srazmerno mali poremećaj (ili kombinacija poremećaja) u nekom ranjivom delu sistema može izazvati dalekosežan raspad institucija i očekivanja od kojih zavisi globalna ekonomija.

Henson takođe nudi predlog kako bismo pojedine egzistencijalne rizike mogli prevesti u neegzistencijalne. On predlaže da razmotrimo otvaranje jednog ili više stalno naseljenih utočišta – smeštenih možda u dubokim rudarskim okнима i dobro opremljenih zalihamama – gde bi mogla preživeti mala ali dovoljna grupa ljudi za ponovno naseljavanje postapokaliptičnog sveta. Bilo bi, naravno, bolje sprečiti tako ozbiljne katastrofe koje bi opstanak čovečanstva učinile zavisnim od takvih savremenih „Nojevih barki“; svejedno, možda bi vredelo ispitati da li bi neke od varijanata ovog predloga mogle biti ekonomičan način da se donekle umanji verovatnoća istrebljenja od niza mogućih uzroka.¹¹

¹¹ Mogli bismo, donekle analogno, spreciti veliki i trajan gubitak biološke raznolikosti preduzimanjem agresivnijih koraka ka očuvanju genetičkog materijala ugroženih vrsta u biobankama. Norveška vlada započela je izgradnju banke semena na zabačenom ostrvu u arktičkom arhipelagu Svalbard. Sef, koji je zakopan u planini i obezbeđen betonom debljine jednog metra ojačanim čelikom, očuvaće viroplazmu važnih poljoprivrednih i divljih biljaka, kao i druge informacije relevantne za naše eventualne daleke potomke.

1.6 Četvrti deo: Rizici od neprijateljskih delovanja

Avet nuklearnog armagedona, koji je toliko zaokupljaо javnu maštu tokom ere Hladnog rata, očigledno je ušao u fazu polupenzionisanja. Broj nuklearnih oružja u svetu umanjen je za polovicu, s hladnoratovskog vrhunca od 65.000 koliko ih je bilo 1986, na približno 27.000, što je podatak iz 2007. godine, uz približno 96% svih oružja u posedu Sjedinjenih Država i Rusije. Odnosi između ove dve države nisu tako loši kao što su nekad bili. Novi strahovi, recimo, problemi sa životnom sredinom i terorizmom, uspešno se nadmeću za medijsku pažnju. Ako ostavimo po strani zastrašujuće vetrove promene, poglavljje 18 jasno kaže da nuklearni rat i dalje ostaje vrlo ozbiljna pretnja.

Postoji nekoliko mogućnosti. Jedna je da se odnosi između Sjedinjenih Država i Rusije opet pogoršaju to tačke u kojoj kriza može izazvati nuklearni rat. Buduća trka u naoružanju može uvećati arsenal još više nego ona u prošlosti. Svetske zalihe plutonijuma konstantno su rasle do oko 2000 tona – otprilike deset puta više od količine koja ostaje u bojevim glavama – a može se proizvesti još. Neka istraživanja sugerisu da bi u opštem ratu u kome bi se iskoristila većina naoružanja iz trenutnog arsenala Sjedinjenih Država i Rusije, stradalo 36–77% američke populacije (105–230 miliona ljudi) i 20–40% ruske populacije (28–56 miliona ljudi). Odloženi i indirektni efekti – kao što su ekonomski slom i moguća nuklearna zima – umnogome bi povećali konačan bilans žrtava.

Druга mogućnost je da nuklearni rat izbije između drugih nuklearnih sila, umesto između starih rivala iz Hladnog rata. Taj rizik raste kako se sve više država priključuje nuklearnom klubu, naročito nacije koje su upetljane u nepredvidljive regionalne sukobe, kao što su Indija, Pakistan, Severna Koreja i Izrael, kojima će se izgleda pridružiti Iran ili još neki. Što više nacija bude imalo bombu, teže će biti sprečavanje daljeg širenja. Tehnologija i znanje postaće široko rasprostranjeni, a nacije koje su se isprva odrekле nuklearnog oružja biće prinudene da preinače svoju odluku i slede druge kad uvide da su se njihovi susedi zaputili nuklearnom stazom.

Treća mogućnost je da nuklearni rat može početi greškom. Prema Džozefu Sirinkoniju, to se umalo nije desilo u januaru 1995. godine:

Ruski vojni zvaničnici pogrešno su zaključili da je s podmornice Sjedinjenih Država lansiran balistički projektil, a zapravo se primicala norveška meteorološka raketa. Boris Jelcinc postao je prvi ruski predsednik u istoriji pred kojim je otvoren „nuklearni kofer“. Imao je samo nekoliko minuta da odluči hoće li pritisnuti dugme za lansiranje baraža nuklearnih projektila. Srećom, on je zaključio da su radari pogrešili. Kofer je zatvoren.

Postoje izveštaji o još nekoliko incidenata u kojima je svet, navodno, bio na ivici nuklearnog holokausta. U jednom trenutku tokom kubanske krize, na primer,

predsednik Kenedi navodno je procenio verovatnoću izbijanja nuklearnog rata između Sjedinjenih Država i SSSR-a na „negde između 33 i 50%“.

Da bi se rizici umanjili, tvrdi Sirinkoni, moramo raditi na razrešenju regionalnih sukoba, podršci i učvršćivanju Ugovora o nuklearnom neširenju – jednom od najuspešnijih i najvažnijih bezbednosnih ugovora u istoriji – i kretati se ka zabrani nuklearnog naoružanja.

Viljam Poter i Gari Akerman ponudili su detaljan pogled na rizike od nuklearnog terorizma u poglavlju 19. Takav terorizam mogao bi imati raznovrsne oblike:

- Disperzija radioaktivnog materijala konvencionalnim eksplozivima („prljava bomba“)
- Sabotaža nuklearnih postrojenja
- Nabavka fisionog materijala za izradu i detoniranje primitivne nuklearne bombe („improvizovanog nuklearnog uređaja“)
- Nabavka i detonacija netaknutog nuklearnog oružja
- Upotreba izvesnih sredstava da se država s nuklearnim naoružanjem prevarom navede na nuklearni napad

Poter i Akerman se usredsređuju na „teške posledice“ nuklearnog terorizma koje su, po njihovom mišljenju, povezane s poslednje tri mogućnosti s navedene liste. Autori analiziraju potražnju i ponudu iz ugla nuklearnog terorizma, posledice terorističkog nuklearnog napada, budući oblik pretnje i na kraju navode preporuke za vođenje politike za suzbijanje navedenih rizika.

Veruje se da do danas nijedan nedržavni akter nema u posedu fisiono oružje:

Nema pouzdanih dokaza da su Al-Kaida ili Aum Šinrikjo u stanju da iskoriste svoju visoku motivisanost, značajne finansijske resurse, iskazane organizacione veštine, široku mrežu pristalica i relativnu bezbednost u prijateljskim ili tolerantnim državama, kako bi napredovale u sticanju nuklearnog naoružavanja. Najbolja procena koja se može izvesti iz ograničenih informacija dostupnih javnim medijima, jeste da im je, između ostalog, bilo najteže da dođu do neophodnog fisionog materijala...

Međutim, uprkos ovakvoj belešci, mnogi stručnjaci su i dalje zabrinuti. Gnjem Alison, autor jednog od najčešće citiranih radova na ovu temu, nudi trajnu opkladu u odnosu 51 prema 49 da će se, „ukoliko ne bude radikalnih novih koraka ka neširenju“, teroristički nuklearni udar desiti u sledećih 10 godina. Drugi stručnjaci postavljaju odnos mnogo niže, ali očigledno ne prihvataju Alisonovu ponudu.

Važnost sprečavanja nuklearnog terorizma široko je shvaćena, a naročito potreba da se spriči da fisioni materijal dospe u pogrešne ruke. Godine 2002,

globalno partnerstvo G-8 postavilo je cilj da se 20 milijardi dolara tokom 10 godina odvoji za sprečavanje terorista da se dočepaju naoružanja i materijala za masovno uništenje. Međutim, Poter i Akerman smatraju da najviše nedostaje opštеприхваћено rukovodstvo koje bi reči pretočilo u efikasnu primenu.

U poglavlju 20, Kristofer Čiba i Ali Nuri daju pregled pitanja u vezi s biotehnologijom i biobezbednošću. Premda su na izvesne načine slični nuklearnim rizicima – i biološka i nuklearna tehnologija mogu se iskoristiti za izradu oružja masovnog uništenja – među njima postoje i značajne razlike. Na primer, biološka oružja mogu biti razvijena u malim postrojenjima koje je lako sakriti, i ne zahtevaju nikakve neobične sirovine za izradu. Zatim, zarazni biološki agens može se raširiti daleko van mesta originalnog ispuštanja, potencijalno i preko čitavog sveta.

Biobezbednosne pretnje spadaju pod nekoliko kategorija, uključujući tu prirodno nastale bolesti, nedopuštene državne programe razvoja biološkog oružja, nedržavne aktere i biohakere, kao i incidente u laboratorijama ili nenamerno oslobađanje izazivača bolesti. Valja imati na umu da je poslednjih godina broj žrtava stradalih od pretnje iz te prve kategorije (prirodno nastale bolesti) šest ili sedam puta većeg reda veličine nego što je zbirni broj žrtava iz preostale tri kategorije. Ipak, biotehnologija sadrži tinjanjuće pretnje sa izgledima za dramatičan razvoj narednih godina, kako budu napredovale njene mogućnosti i širenje. Razmotrimo sledeće primere nedavnih događaja:

- Grupa australijskih istraživača, tražeći način za kontrolu populacije zečeva u državi, dodala je gene interleukina-4 virusu mišjih boginja, nadajući se da će time učiniti životinje sterilnim. Neočekivano, virus je inhibirao imuni sistem nosioca, i sve životinje su uginule, uključujući i jedinke koje su prethodno bile vakcinisane. Radovi koje je posle toga izvela druga grupa, proizveli su verziju virusa koja je bila 100% smrtonosna na vakcinisanim miševima bez obzira na davanje antivirusnih lekova životinjama.
- Poliovirus je bio sintetizovan iz tržišno raspoloživih hemijskih zaliha. Kada je ovo prvu put urađeno, bio je neophodan dugotrajan vrhunski istraživački projekat. Od tada, vreme potrebno da se sintetizuje genom virusa uporedivog po veličini s poliovirusom, smanjeno je na nedelje. Virus koji je izazvao pandemiju španskog gripa, i koji je izumro, takođe je resintetizovan i danas postoji u laboratorijama u Sjedinjenim Državama i Kanadi.
- Tehnologija za promenu svojstava virusa i drugih mikroorganizama napreduje brzim tempom. Nedavno razvijeni metod RNK interference obezbeđuje istraživačima sredstva za isključivanje izabranih gena kod ljudskih bića i drugih organizama. „Sintetička biologija“ uspostavljena je kao nova oblast čiji je cilj da omogući kreiranje malih bioloških uređaja i, u krajnjoj liniji, novih tipova mikroba.

Čitajući ovu listu, dok imamo na umu da je kompletan genom stotina bakterija, gljiva, virusa – među njima ebola, marburga, velikih beginja i virusa španjolskog gripe iz 1918. godine – već sekvenciran i deponovan u javnu bazu podataka, nije teško u da neko u mašti sastavi zastrašujuće mogućnosti. Tehnološke barijere za proizvodnju supervirusa stalno padaju, paralelno sa sve većim širenjem biotehnološkog znanja i opreme.

Dvostruka priroda upotrebe neophodne opreme i stručnosti, i činjenica da postrojenja mogu da budu mala i da se lako sakriju, predstavljaju teške izazove za one koji bi da ih regulišu. Da bi bilo kakav režim regulacije funkcionalisao, morao bi da se uspostavi težak balans između prevencije zloupotrebe i omogućavanja istraživanja nepohodnih za razvoj lekova i dijagnostike (ili obezbeđenja drugih medicinskih ili ekonomskih koristi). Čiba i Nuri opisuju nekoliko strategija za promovisanje biobezbednosti, između ostalog i automatski pregled genskih sekvenci dostavljenih na sintezu DNK u centralizovana postrojenja. Izgledno je da će biobezbednost postepeno biti sve važnija i da će biti neophodan višestran pristup da bi se reagovalo na opasnosti od kreiranih patogena.

Kris Finiks i Majk Treder (poglavlje 21) raspravljaju o nanotehnologiji kao izvoru rizika globalne katastrofe. Oni razlikuju „tehnologije na nanoskali“, od kojih mnoge već postoje a još više njih je u razvoju, i „molekularnu manufakturu“, koja ostaje hipotetička tehnologija budućnosti (i često se povezuje sa osobom koja ju je prvi put detaljno predvidela, K. Erikom Drekslerom). Tehnologije na nanoskali, tvrde oni, po svemu sudeći ne predstavljaju nov rizik globalne katastrofe, iako takve tehnologije mogu u nekim slučajevima bilo uvećati ili pomoći ublažavanju pojedinih drugih rizika o kojima se u ovoj knjizi raspravlja. Finiks i Treder posvećuju najveći deo svog poglavlja razmatranju mogućnosti i pretnji od molekularne manufakture. Kao i u slučaju superinteligencije, *trenutni* rizik ravan je nuli, pošto tehnologija o kojoj je reč još ne postoji; ipak, budući rizik može biti ekstremno ozbiljan.

Molekularna nanotehnologija izvanredno bi proširila kontrolu nad struktrom materije. Sistemi molekularnih mašina omogućili bi brzu i jeftinu izradu mikroskopskih i makroskopskih predmeta izgrađenih s atomskom preciznošću. Takvi proizvodni sistemi sadržali bi milione mikroskopskih oruđa za sklapanje. Radeći paralelno, oni bi objekte gradili dodavanjem molekula na radni predmet preko hemijskih reakcija za kontrolu pozicioniranja. Raspon struktura koje bi se moglo graditi ovakvom tehnologijom bitno nadmašuje onaj dostupan biološko molekularnim montažerima (kao što je ribozom) koji postoje u prirodi. Među ostalim stvarima, nanofabrika može da izgradi još jednu nanofabriku. Primeri potencijalnih primena:

- mikroskopski nanoroboti za medicinsku upotrebu
- daleko brži računari
- veoma laki i jaki materijali nalik dijamantu

- novi postupci za uklanjanje zagadivača iz okoline
- proizvodni pogoni veličine radnog stola, koji automatski mogu napraviti širok spektar atomski preciznih struktura preko planova koji se u njih mogu učitati
- jeftini solarni kolektori
- izvanredno unapređena kosmička tehnologija
- masovna proizvodnja svakovrsnih senzora
- oružja, jeftina u masovnoj proizvodnji i unapređena konvencionalna oružja, kao i nove vrste naoružanja koja ne mogu biti izgrađena bez molekularne nanotehnologije.

Ovako svestrana i moćna tehnologija mogla bi se koristiti u bezbrojne svrhe, kako dobronamerne tako i zlonamerne.

Finiks i Treder navode brojne rizike globalne katastrofe koji bi se mogli pojaviti s tako naprednom tehnologijom proizvodnje, uključujući rat, društvene i ekonomski poremećaje, destruktivne oblike globalnog upravljanja, radikalno unapređenje inteligencije, degradaciju životne sredine i „ekofagiju“ (nekontrolisano umnožavanje nanorobota u prirodnom okruženju, koji bi trošili resurse zemljine biosfere i uništavali je). U zaključku iznose prilično alarmantnu procenu:

U nedostatku nekog tipa preventive ili zaštitne sile, moć molekularno napravljenih proizvoda mogla bi da omogući velikom broju različitih aktera – pojedincima, grupama, korporacijama, nacijama – da steknu sposobnost koja bi im omogućila uništenje svih nezaštićenih ljudi. Izgledi da bar jedan moćan akter bude neuračunljiv nisu mali. Izgledi da će biti izgrađeno razorno naoružanje a zatim slučajno aktivirano (moguće preko previše osetljivih automatskih sistema), takođe su pozamašni. Najzad, izgledi da sukob između dve sile [sposobne da otpočnu izvestan scenario međusobnog razaranja] eskalira dok jedna od njih ne bude prinuđena da izvede opciju sudnjeg dana, takođe nisu na nuli. Ovo ukazuje na sledeće: dok se ne pripremi odgovarajuća odbrana protiv naoružanja koje je namenjeno za potpuno uništenje – a to je tačka koju hitno treba istražiti – broj aktera koji imaju takvo naoružanje mora se svesti na minimum.

Konačno, zamislimo situaciju u kojoj smo uspeli da minimalizujemo ili potpuno uklonimo sve dosad pomenute (kao i druge zamislive) globalne rizike nastale kao posledica bilo prirodnih, bilo ljudskih aktivnosti; da li bi to automatski značilo da smo postigli utopiju „svetle budućnosti“? Nažalost, ne. Poslednje poglavljje knjige, koje je napisao Brajan Kaplan, odnosi se na totalitarizam kao rizik globalne katastrofe. Totalitarne vlade nacističke Nemačke, sovjetske Rusije i maoističke Kine odgovorne su za desetine miliona žrtava i nezapamćene dodatne ljudske patnje u prethodnom veku. U poređenju s rizicima sličnim onima od udara asteroida, totalitarizam je kao globalni rizik teže izučavati nepristrasno, a međuideološka saglasnost u pogledu najboljeg načina ublažavanju tog rizika

bila bi još neizvesnija. Pa ipak, rizici od represivnih oblika vladavine, u koje spadaju i totalitarni režimi, ne smeju biti zanemareni. Represija je bila jedna od najvećih periodičnih prepreka ljudskog razvitka tokom istorije, t o je uveliko i danas, i jedna je od onih na koje čovečanstvo ostaje ranjivo.

Kaplan zapaža da totalitarizam, pored toga što je sam po sebi nesreća, takođe pojačava ostale rizike. Ljudi u totalitarnim režimima često se boje da objave loše vesti, a do rukovodstva u takvima režimima neretko ne dopiru kritike i različita mišljenja. Zbog toga je verovatnije da njihove vođe previde preteće opasnosti i počine ozbiljne političke greške (čak i ako se procena obavlja sa stanovišta interesa samih vladara). Međutim, kako Kaplan dalje primećuje, kod nekih tipova rizika totalitarni režimi mogu, zapravo, predstavljati prednost u odnosu na otvorenija i raznolikija društva. Tamo gde se ciljevi mogu postići grubom silom i masivnom mobilizacijom resursa, totalitarne metode često su bile efikasne.

Kaplan analizira dva faktora za koje tvrdi da istorijski ograničavaju trajnost totalitarnih režima. Prvi od njih je problem nasleđivanja. Jak vođa može vladati čvrstom rukom, ali partijska frakcija kojoj on pripada često se saplete kada treba imenovati naslednika koji će održati stanje stvari, dopuštajući tako da reformator iz senke – jagnje u vučoj koži – dođe na poziciju vođe posle smrti tiranina. Drugi faktor je postojanje netotalitarnih država širom sveta. One su primer ljudima koji žive pod totalitarizmom da stvari mogu biti bolje nego što jesu, a to podstiče nezadovoljstvo i nemir. Da bi ovo sprečili, lideri mogu ograničiti kontakte sa spoljnjim svetom, stvarajući „izolovano kraljevstvo“ kao što je nekadašnja komunistička Albanija ili današnja Severna Koreja. Uprkos tome, neke informacije moraju procureti. Štaviše, ako je izolacija potpuna, s vremenom će zemlja verovatno zaostati ekonomski i vojno, i postati pogodno tlo za invaziju ili spolja nametnutu promenu režima.

Moguće je da se ranjivost predstavljena ovim dvema Ahilovim petama totalitarizma može umanjiti u nekom budućem razvoju. Tehnološki napredak pomogao bi pri rešavanju problema nasleđivanja. Možda će se jednog dana primenjivati skeniranje mozga kako bi se otkrili prikriveni skeptici unutar partije. I drugi oblici novih tehnologija za nadziranje takođe mogu olakšati kontrolu nad stanovništvom. Mogli bi biti razvijeni novi psihijatrijski lekovi koji povećavaju poslušnost bez primetnog umanjenja produktivnosti. Napredak u medicini u produžavanju životnog veka može produžiti život lideru toliko da se pitanje nasleđivanja ređe postavlja. Što se tiče postojanja netotalitarnih država, Kaplan brine zbog moguće pojave svetske vlade. Takva vlada, čak i ako bi nastala kao demokratska, mogla bi u nekom trenutku skrenuti u totalitarizam; a svetski totalitarni režim mogao bi onda imati veliku moć održavanja pošto ne bi bilo spoljnih takmaca ni vanzemaljskih primera koristi od političke slobode.

Da bi rasprava o ovakvim temama mogla biti produktivna, važno je prepoznati razliku između dva veoma različita stava: „Evo valjanog razmatranja u korist

pozicije X“, nasuprot „X je, kad sve pažljivo razmotrimo, pozicija koju treba izabrat“. Na primer, Kaplan zapaža:

Ako bi ljudi živeli večno, pojava stabilnog totalitarizma bila bi malo izglednija, ali bilo bi suludo primoravati sve da umru od starosti kako bi se izbegao mali rizik da vas kroz hiljadu godina ukloni tajna policija.

Na takav način, moguće je favorizovati jačanje izvesnih oblika globalnog upravljanja uz istovremeno prepoznavanje legitimne zabrinutosti od globalnog totalitarizma na koji nam Kaplan skreće pažnju.

1.7 Zaključci i budući smerovi

Čini se da svi najizgledniji rizici globalne katastrofe potiču od ljudskih aktivnosti, naročito od industrijske civilizacije i naprednih tehnologija. Ovo nije nužno osuda industrije ili tehnologije, jer tim faktorima pripadaju mnoge zasluge za stvaranje vrednosti koje sada ugrožene – među kojima je i većina ljudi koji danas žive na planeti, jer nas ima otprilike 30 puta više nego što bi moglo da opstane uz primitivne poljoprivredne metode, i stotinama puta više nego što bi nas moglo živeti od lova i sakupljanja. Štaviše, iako su stvoreni novi rizici globalne katastrofe, brojni manji rizici drastično su umanjeni u mnogim delovima sveta zahvaljujući savremenom tehnološkom društvu. Lokalne i lične katastrofe – kao što su glad, žed, napadi divljih zveri, bolesti i nasilja manjeg obima – istorijski su odneli više života nego globalne kataklizme. Smanjenje ukupnih efekata ovih hazarda manjeg obima može pretegnuti nad povećanjem rizika globalne katastrofe. Prema istinskim nivoima rizika, do izvesne (nepotpune) mere izraženim u aktuarskim statistikama, moglo bi se reći da je svet bezbedniji nego ikada: očekivani životni vek u svetu danas je 64 godine u odnosu na 50 početkom 20. veka, 33 u srednjevekovnoj Britaniji i procenjenih 18 godina tokom bronzanog doba. Rizici globalne katastrofe jesu, po definiciji, najveći po *obimu*, ali ne nužno i prema njihovoj očekivanoj ozbiljnosti (verovatnoća \times šteta). Povrh toga, tehnologija i složena društvena organizacija nude mnogo važnih alatki za upravljanje preostalim rizicima. Međutim, važno je razumeti da najveći rizici globalne katastrofe s kojima se danas susrećemo nisu u potpunosti spoljni. Oni su tesno povezani s direktnim i indirektnim, predviđenim i nepredviđenim posledicama naših sopstvenih dela.

Pandemije zaraznih bolesti trenutno predstavljaju veliki rizik globalne katastrofe. Već je ranije primećeno da zarazne bolesti odnose oko 15 miliona žrtava godišnje, od čega se 75% odnosi na jugoistočnu Aziju i podsaharsku Afriku. Ova sumorna statistika predstavlja izazov za klasifikaciju pandemijskih bolesti kao rizika globalne katastrofe. Neko bi mogao tvrditi da zarazne bolesti nisu toliko rizik koliko su *tekuća globalna katastrofa*. Čak i na finijoj gradaciji klasifikacije

hazarda, zasnovanoj na specifičnim zaraznim agensima, bar neke od trenutno tekućih pandemija (kao što je HIV/AIDS, sa oko 3 miliona žrtava godišnje) verovatno bi bile kvalifikovane kao globalne katastrofe. Sličnim računanjem, neko bi mogao tvrditi da su kardiovaskularne bolesti (odgovorne za oko 30% svetskog mortaliteta, ili 18 miliona žrtava godišnje) i rak (8 miliona žrtava) takođe tekuće globalne katastrofe. Bilo bi nemoralno da istraživanje mogućih katastrofa koje bi se *mogle desiti*, odvrati pažnju od stvarnih katastrofa koje se *upravo* dešavaju.

Isto tako, prikladno je na ovoj prekretnici razmisliti za trenutak o najvećem uzroku smrti i invalidnosti od svih, a to je starenje, kome se pripisuje oko dve trećine od 57 miliona smrtnih slučajeva svake godine, uz ogroman gubitak zdravstvenog i ljudskog kapitala.¹² Kada starenje ne bi bilo izvesno, nego samo verovatno, odmah bi izbilo na vrh svake liste rizika globalne katastrofe. Pa ipak, činjenica da starenje nije tek verovatni uzrok buduće smrtnosti nego izvestan uzrok trenutne smrtnosti, ne treba da nas uvuče u obesmišljavanje teme. Do mere u kojoj imamo realne izglede za ublažavanje problema – na primer, širenjem informacija o zdravijem načinu života ili većim ulaganjem u biogerontoška istraživanja – mogli bismo da spasemo mnogo veći očekivani broj života ili godina života (korigovano prema kvalitetu). Tako bismo ostvarili delimičan napredak u rešavanju ovog problema nego da smo potpuno rešili neki rizik globalne katastrofe opisan u ovoj knjizi.

Drugi rizici globalne katastrofe koji se već smatraju značajnim, ili se očekuje da će postati značajni tokom naredne decenije ili nešto duže, obuhvataju rizike od nuklearnog rata, biotehnologije (zloupotrebljene za terorizam ili možda rat), društvenih/ekonomskih poremećaja ili scenarija sloma i, možda, od nuklearnog terorizma. Tokom malo dužeg vremenskog perioda, rizici od molekularne manufakture, veštačke inteligencije i totalitarizma mogu postati izraženiji, a svaki od tih potonjih isto je tako potencijalan egzistencijalni rizik.

To što je jedan poseban rizik veći od nekog drugog ne znači da treba odvojiti više sredstava za njegovo ublažavanje. S nekim rizicima možda nećemo moći da učinimo ništa. Opet, za druge rizike odvajanje sredstava može biti preskupo ili previše opasno. Čak i mali rizik može zavredeti prioritet ako je rešenje dovoljno jeftino i lako primenljivo – primer bi bio antropogeno slabljenje ozonskog omotača, problem koji je, zahvaljujući pre svega Montrealskom protokolu, sada uveliko u fazi rešavanja. Međutim, po pravilu ima smisla posvetiti najviše pažnje rizicima koji su najveći i/ili najhitniji. Mudra osoba neće gubiti vreme na instalaciju alarma protiv provalnika dok je kuća u plamenu.

¹² U statistici mortaliteta smrt se obično klasificuje prema približnim uzrocima (rak, samoubistvo itd.). Ali možemo proceniti koliko je smrtnih slučajeva zbog starosti upoređujući specifične godine smrtnosti u različitim starosnim kategorijama. Prosečan osamdesetogodišnjak ima veće izglede da umre tokom naredne godine od prosečnog dvadesetogodišnjaka zato što je zbog starenja ovaj prvi podložniji širokom rasponu specifičnih faktora rizika. Stoga se učestalija smrtnost među starijima može pripisati negativnim efektima starenja.

Kako budemo napreduvali, biće nam potrebna kontinuirana istraživanja individualnih rizika, naročito onih potencijalno velikih, ali relativno slabo shvaćenih, kao što su rizici od biotehnologije, molekularne manufakture, veštačke inteligencije, te sistemski rizici (od kojih je totalitarizam samo jedan vid). Takođe su nam potrebna istraživanja pomoću kojih bi se identifikovale i procenile moguće strategije ublažavanja rizika. Za neke rizike i tekuće katastrofe već su poznate isplative protivmere; u tim slučajevima potrebno je da rukovodstvo obezbedi primenu odgovarajućih programa. Pored toga, postoji potreba za istraživanjima kojima bi se razjasnili metodološki problemi koji nastaju u proučavanju rizika globalne katastrofe.

Plodotvornost daljeg rada na rizicima globalne katastrofe, prema našem verovanju, biće poboljšana ako se uzmu u razmatranje sledeći predlozi:

- U proučavanju pojedinačnih rizika više se fokusirati na stvaranje akcionalih informacija, kao što su signali za rano upozorenje, metrika za merenje napretka u smanjivanju rizika i kvantitativni modeli za procenu rizika.
- Razvoj i primena boljih metodologija i institucija za prikupljanje informacija i prognoze verovatnoće, kao što su tržišta za predviđanje.
- Više napora uložiti u razvoj i procenu mogućih strategija ublažavanja, i zbog direktnе koristi od takvih istraživanja, i zato što zabrinutost zbog političkih instrumenata kojima se na rizik može uticati izvesno obogaćuje naše teorijsko razumevanje prirode rizika.
- Posebnu pažnju posvetiti egzistencijalnim rizicima i jedinstvenim metodološkim problemima koje oni postavljaju.
- Graditi jaču interdisciplinarnu i međunarodnu zajednicu za tretiranje rizika, koja bi obuhvatila ne samo stručnjake iz mnogih akademskih oblasti nego isto tako profesionalce i političare odgovorne za primenu strategija za umanjenje rizika, kako bi se probili zidovi disciplinarnih torova i umanjio jaz između teorije i prakse.
- Negovati kritičku raspravu u cilju promišljenijeg i analitičnijeg rešavanja pitanja prioritetenog što se to sada radi; posmatrati rizike globalne katastrofe i njihovo ublažavanje u širem kontekstu izazova i mogućnosti za očuvanje i unapređenje stanja čovečanstva.

Nade koje polažemo u ovu knjigu ostvariće se ako ona postavi još jednu ciglu u temelje načina razmišljanja koje omogućava čovečanstvu da globalnim problemima sadašnjice pristupi s više zrelosti, odgovornosti i efikasnosti.

DEO I
Scena

•2•

Dugoročni astrofizički procesi

Fred Adams

2.1 Uvod: fizička eshatologija

Bacimo li dugoročniji pogled u budućnost, videćemo da čitav niz astrofizičkih procesa čeka svoj red dok Zemlja, Sunce, galaksija i kosmos stare. Osnovni astronomski parametri koji opisuju naš svemir sada su izmereni sa uverljivom preciznošću. Skorašnja osmatranja kosmičkog mikrotalasnog pozadinskog zračenja pokazuju da je prostorna geometrija našeg kosmosa ravna (Spergel et al., 2003). Nezavisna merenja odnosa crvenog pomaka i udaljenosti korišćenjem supernovih tipa Ia, ukazuju da se kosmos ubrzano širi i evidentno sadrži značajnu komponentu tamne vakuumske energije (Garnavich et al., 1998; Perlmutter et al., 1999; Riess et al., 1998).¹ Ovaj iznova potvrđeni standardni kosmološki model („Velikog praska“) predstavlja važnu prekretnicu u našem poimanju kosmosa. Uz relativno dobro poznate kosmološke parametre, sada se sa izvesnim stepenom pouzdanosti može predvideti dalji razvoj našeg kosmosa (Adams i Laughlin, 1997). Najbolji astronomski podaci kojima raspolažemo pokazuju da će se naš kosmos širiti zauvek, ili bar dovoljno dugo da se širok spektar astronomskih događaja efektivno okonča.

U drugim poglavljima ove knjige razmatrani su neki kosmički faktori koji mogu da utiču na život na našoj planeti, uključujući tu udare asteroida i kometa (poglavlje 11) i najbliže eksplozije supernovâ s njihovim pratećim gama zračenjem (poglavlje 12). Dugoročno u budućnosti, povećavaće se izgledi za katastrofične događaje ovog tipa. Uz to, u još dugoročnjem pogledu, otkrivamo da se u našoj kosmološkoj budućnosti mogu desiti i fantastičniji događaji. U ovom poglavlju opisani su pojedini astrofizički događaji koji mogu da utiču na život, na našoj planeti i možda još ponegde, tokom ekstremno dugih vremenskih perioda, pa i onih koji uveliko premašuju trenutnu starost kosmosa.

Ove projekcije zasnovane su na našim sadašnjim saznanjima o astronomiji i zakonima fizike, koji nude čvrst razvojni okvir za razumevanje fizičkog kosmosa (ova tema se ponekad naziva *fizička eshatologija* – videti pregled u Ćirković 2003).

¹ „Tamna energija“ uobičajeni je izraz koji objedinjuje različite modele sveprisutnog oblika energije koja prožima čitav kosmos (oko 70% ukupne energije fizičkog kosmosa) i izaziva ubrzano širenje prostorvremena. Najpoznatiji od tih modela je Ajnštajnova kosmološka konstanta, ali ima i drugih pod nazivima *kvintesencija*, *fantomска energija* itd. Sve ih karakteriše negativan pritisak, što je u oštem kontrastu sa svim oblicima energije koje viđamo oko nas i u zemaljskim laboratorijama.

Što dublje zadiremo u budućnost, neizvesnosti naših projekcija nužno moraju rasti. Ova rasprava zasnovana je na pretpostavci da su zakoni fizike i poznati i nepromenljivi; kako se bude otkrivala nova fizika, ili ako se bude pokazalo kako su fizičke konstante zavisne od vremena, u skladu s tim ova projekcija budućnosti mora biti revidirana.

2.2 Sudbina Zemlje

Jedno pitanje od neposredne važnosti jeste sudbina Zemljine biosfere i, na još dužim vremenskim skalama, sudbina same planete. Kako Sunce stari, tako sago-reva vodonik u helijum. U poređenju s vodonikom, helijum ima manji delimični pritisak na dатој temperaturi, tako da samo zvezdano jezgro mora biti sve toplige tokom evolucije Sunca. Usled toga, Suncu je, kao i ostalim zvezdama, suđeno da bude sve sjajnije. Kada Sunce postane previše sjajno, pokrenuće nepovratan efekat staklene bašte u Zemljinoj atmosferi (Kasting et al., 1988). Ovaj efekat grubo nalikuje efektu globalnog otoplavljanja uzrokovanog „gasovima staklene bašte“ (poglavlje 13), a s tom opasnošću naša planeta suočiće se u bliskoj budućnosti; ipak, ovaj kasniji efekat staklene bašte biće mnogo drastičniji. Sudeći po sadašnjim procenama, naša biosfera biće suštinski sterilna za oko 3,5 milijardi godina, pa taj budući rok označava kraj života na Zemlji. Kraj složenog života može doći ranije, za oko 0,9–1,5 milijardi godina, kao posledica nepovratnog efekta staklene bašte (e.g., Caldeira i Kasting, 1992).

Biosfera predstavlja relativno mali površinski sloj, pa će sama planeta srazmerno lako podneti ovaj period razaranja. Nešto kasnije tokom Sunčeve evolucije, kada bude staro 11–12 milijardi godina, ono će potrošiti zalihe vodonika u oblasti jezgra i moraće da prilagodi sopstvenu strukturu (Rybicki i Denis, 2001; Sackmann et al., 1993). Dok to bude činilo, spoljna površina zvezde malo će se ohladiti, boja će joj se promeniti u blistavocrvenu a prečnik će se povećavati. Sunce kao crveni džin potom izrasta dovoljno da obuhvati prečnik orbite Merkura, i ta njemu najbliža planeta nestaje bez traga. Sunce će i dalje rasti, dosegnuće do orbite Venere, gutajući i s drugu planetu. Kako se Sunce u fazi crvenog džina širi, ono gubi na masi pa se preživele planete mnogo labavije drže u svojim orbitama. Zemlja isklizava na orbitu šireg prečnika i naizgled izbegava uništenje. Međutim, zbog gubitka mase Sunce pojavljuje se fluid kroz koji se Zemlja mora probijati tokom svog godišnjeg kruženja. Prema tekućim proračunima, sile trenja koje deluju na Zemlju tokom njene interakcije sa solarnim fluidom izazvaće dovoljno orbitalno propadanje koje će Zemlju povući ka Suncu. Tako će i Zemlja ispariti i nestati, a ono što ostane od nje biće mali dodatak količini teških elemenata Sunčeve fotosfere. Ova tačka u budućnosti, udaljena otprilike 7 milijardi godina od današnjice, označava kraj naše planete.

Imajući u vidu da je biosferi ostalo najviše 3,5 milijardi godina, a Zemlji samo 7 milijardi godina, zanimljivo je pitanje kakva bi se „spasavanja planete“ mogla

odigrati na uporednim vremenskim skalama. Iako izgledi nisu dobri, Zemlja ima izvesne šanse da bude spasena rasejanjem Sunčevog sistema prilikom prolaska drugog zvezdanog sistema (ti zvezdani sistemi većinom su binarne zvezde). Ovakve vrste rasipajućih interakcija predstavljaju interesantan problem u dinamici zvezdanih sistema, koji se ispituju pomoću numeričkih eksperimenata. Mora se izvesti veliki broj ovakvih eksperimenata zato što su sistemi haotični, te stoga pokazuju tananu zavisnost od početnih uslova, i zato što je raspoloživi prostor parametara veoma širok. Uprkos tome, posle približno pola miliona simulacija rasejanja odgovor se može naći: izgledi da Zemlja bude izbačena iz Sunčevog sistema pre nego što je obuhvati Sunce crveni džin iznose svega nekoliko delova u 10^5 (Laughlin i Adams, 2000).

Iako bi Zemljino izgnanstvo moglo da spase planetu od nestanka u plazmi, biosfera bi ipak bila uništena. Okeani bi se zaledili za nekoliko miliona godina, a jedini preostali džepovi tekuće vode nalazili bi se duboko ispod površine. Zemlja sadrži sopstveni energetski izvor – energiju proizvedenu radioaktivnim raspodom nestabilnih jezgara. Ova energija je oko 10.000 puta manja od one koju Zemlja preuzima od današnjeg Sunca, tako da malo utiče na trenutne događaje u površinskoj biosferi. Ako bi Zemlja bila izbačena iz Sunčevog sistema, onda bi jedino preostao taj interni izvor energije. Ta energija bila bi dovoljna da se unutrašnjost planete održi dovoljno toplom kako bi voda postojala u tečnom stanju, ali samo na dubinama od 14 kilometara ispod površine. Ovo otkriće zauzvrat ima implikacije na savremenu astronomiju: vodena okruženja najčešće se mogu nalaziti duboko unutar smrznutih planeta, to jest onih koje ispod smrznute vode na površinama kriju okeane tečne vode. Takve planete bi mogle biti mnogo češća pojave od onih koje imaju vodu na površini, kao što je Zemlja, zato što se mogu naći u mnogo širem rasponu orbita oko svojih centralnih zvezda (Laughlin i Adams, 2000).

Osim što bi spasile Zemlju izbacujući je iz Sunčevog sistema, prolazeće binarne zvezde takođe bi mogle zarobiti Zemlju i tako uzrokovati da orbitira oko nove zvezde. Pošto je masa većine zvezda manja od Sunčeve, one duže žive i trpe manje ekstremne faze crvenog džina. (Zapravo, najmanje zvezde s masom manjom od četvrtine Sunčeve mase nikada neće postati crveni džinovi – Laughlin et al., 1997.) Zato bi uhvaćena Zemlja imala veće izglede za dugoročni opstanak. Izgledi za ovaj tip planetarnog spasavanja uz očuvanje biosfere izuzetno su mali – samo oko jedan prema tri miliona (Laughlin i Adams, 2000), i približno su jednak izgledima za osvajanje državne lutrije.

Celovitosti radi, pomenimo i da bi, osim čisto prirodnih procesa iznetih ovde, i ljudska ili druga sračunata intervencija potencijalno mogla promeniti kurs Zemljine orbite, pod uslovom da ima dovoljno vremena i drugih sredstava. Na primer, neko bi mogao usmeriti asteroid u odgovarajuću orbitu tako da gravitaciono rasejanje efektivno prenese energiju u Zemljinu orbitu, dopuštajući joj da se udalji dok se Sunčeva svetlost sve više pojačava (Korycansky et al., 2001). U ovom scenariju bira se orbita asteroida na kojoj će naići i na Jupiter i Saturn,

kako bi obnovila energiju i ugaoni momenat koje će preneti na Zemlju. Mogući su i mnogi drugačiji scenariji, ali ostatak ovog poglavlja biće usmeren ka fizičkim pojavama koji ne uključuju sračunate akcije inteligentnih bića.

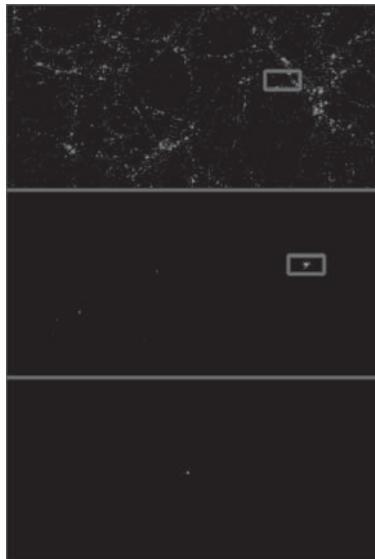
2.3 Izolacija lokalne grupe

Pošto se kosmos sve ubrzanje širi (Garnavich, et al., 1998; Perlmutter et al., 1999; Riess et al., 1998), obrazovanje galaksija, galaktičkih jata i većih kosmičkih struktura suštinski je okončano. Kosmos se u ovom trenutku približava stanju eksponencijalnog širenja i rastuće kosmološke fluktuacije biće obustavljene na svim prostornim skalama. Postojeće stukture biće izolovane. Brojčane simulacije ilustruju ovakav trend (slika 2.1) i pokazuju kako će se vasiona rasturiti u niz „ostrvskih kosmosa“ koji će sadržati po jedno jato ili grupu galaksija (Busha et al., 2003; Nagamine i Loeb, 2003). Drugim rečima, najveće gravitacijom okupljene strukture koje mi danas vidimo u našem kosmosu, verovatno su i najveće strukture koje će ikad biti formirane. Ne samo što svaka grupa galaksija (na kraju) mora preći u fizičku izolaciju, nego će nezadrživo kosmičko širenje razvući i sadašnja galaktička jata van međusobnog vidokruga. U budućnosti neće se videti čak ni svetlost galaksija iz drugih jata. U slučaju Mlečnog puta, videće se samo lokalna grupa galaksija. Trenutna osmatranja i nedavni proračuni jasno ukazuju na to da najблиže veliko jato galaksija – Devica – nema dovoljno mase da bi privuklo Lokalnu grupu i održalo se na okupu (Busha et al., 2003; Nagamine i Loeb, 2003). Naša Lokalna grupa sastoji se od Mlečnog puta, Andromede i nekoliko desetina patuljastih galaksija (nepravilnog i sferoidnog oblika). Ostatak kosmosa biće skriven iza kosmološkog horizonta i tako biti nepristupačan za buduća osmatranja.

2.4 Sudar sa Andromedom

U svojim jatima, galaksije često prolaze jedna kraj druge i remete uzajamno strukture svojim jakim gravitacionim poljima. Ponekad te interakcije dovode do galaktičkih sudara i stapanja. Veoma važan primer takvog sudara upravo predstoji: obližnja galaksija Andromeda kreće se pravo ka našem Mlečnom putu. Iako ćemo se s našom sestrinskom galaksijom susresti tek za 6 milijardi godina, a možda i kasnije, naša sudska bina je zapečaćena – dvema galaksijama je suđeno da se spoje u jednu (Peebles, 1994).

Gledano spolja, galaktički sudari su dramatični, a rezultat im je razaranje dobro definisane spiralne strukture koja karakteriše originalne galaksije. Gledano, međutim, iz pozicije unutar galaksije, galaktički sudari su mnogo manje spektakularni. Razdaljine među zvezzdama toliko su velike, da će se desiti samo nekoliko zvezdanih sudara, ako i njih uopšte bude. Jedna od posledica



Slika 2.1 Numerička simulacija oblikovanja struktura u kosmosu koji se ubrzano širi ispušten tamnom vakuumskom energijom. Gornja trećina prikazuje deo kosmosa u sadašnje vreme (kosmička starost 14 milijardi godina). Uokvirena oblast u gornjoj trećini proširuje se i postaje slika u srednjoj trećini, u kosmičkoj starosti od 54 milijarde godina. Okvir u srednjoj trećini se zatim širi da bi postao slika u donjoj trećini, u kosmičkoj starosti od 92 milijarde godina. U ovoj budućoj epohi, galaksija prikazana u središtu donje trećine postala je efektivno izolovana. (Simulacije odštampane s dopuštenjem autorâ – Busha, M.T., Adams, F.C., Evrard, A.E. i Wechsler, R.H. (2003). Buduća evolucija kosmičke strukture u kosmosu koji se ubrzano širi. *Astrophys. J.*, 596, 713.)

je postepeno rasvetljavanje noćnog neba za, otprilike, faktor 2. S druge strane, galaktički sudari obično se povezuju sa snažnom epizodom stvaranja zvezda. Veliki oblaci molekularnog gasa unutar galaksija spajaju se u sudarima i obrazuju nove zvezde enormnom brzinom. Nastanak brojnih supernova kao rezultat smrti najmasovnijih zvezda može imati katastrofalne posledice i predstavlja značajan rizik za svaku obližnju biosferu (poglavlje 12), pod uslovom da život i dalje bude bujao popovršinama planeta zemaljskog tipa.

2.5 Kraj zvezdane evolucije

S trenutnom starošću od 14 milijardi godina, kosmos je usred zvezdanoproduktivne ere, epohe u kojoj se zvezde aktivno formiraju, žive i umiru. Veći deo energije koji se danas stvara u našem kosmosu nastaje u nuklearnoj fuziji koja se odvija u jezgrima običnih zvezda. Kako vreme bude prolazilo, najčešće zvezde u kosmosu – zvezde male mase poznate kao crveni patuljci – igrat će sve važniju

ulogu. Iako je masa crvenih patuljaka više nego upola manja od sunčeve, one su toliko brojne da njihova kombinovana masa lako preovladava u ukupnom galaktičkom „budžetu“. Ovi crveni patuljci su škrti kada se radi o fuziji njihovog vodonika u helijum. Čuvajući svoje energetske resurse, oni će sijati još bilionima godina, dugo pošto njihovi veliki srodnici potroše svoje gorivo i evoluiraju u bele patuljke ili eksplodiraju kao supernove. Odavno je već poznato da male zvezde žive znatno duže od onih masivnijih, zahvaljujući svom mnogo manjem sjaju. Međutim, na osnovu nedavnih proračuna vidimo da je životni vek crvenih patuljaka i duži od očekivanog. U tim malim zvezdama konvektivne struje provlače gotovo sve vodonično gorivo kroz zvezdano jezgro, gde ono može sagoreti u nuklearnim reakcijama. Za razliku od njih, našem Suncu je pristupačno svega do 10% sopstvenog vodonika i potrošiće samo 10% svog nuklearnog goriva u stabilnom periodu svog života. Stoga mala zvezda s masom ne većom od 10% sunčeve ima gotovo jednake rezerve goriva kao i Sunce i sijaće desetinama miliona godina (Laughlin et al., 1997). Kao i sve zvezde, crveni patuljci postaju sjajniji dok stare. Zbog toga što crvenih patuljaka ima tako mnogo, njihovim blistanjem nadoknađuje se gubitak većih zvezda, pa galaksija zadržava gotovo stalni sjaj već otprilike bilion godina (Adams et al., 2004).

Čak ni male zvezde ne žive večno, i ovoj blistavoj zvezdanoj eri dolazi kraj kada se potroše zalihe vodonika u galaksiji, prekine formiranje zvezda, a najdugovečniji crveni patuljci lagano izblede u zaboravu. Kao što je već ranije pomenuto, najmanje zvezde sijaće bilionima godina, tako da će kraj zvezdane ere doći u kosmičkoj starosti od nekoliko miliona godina, ako ne nastanu nove zvezde. U velikim spiralnim galaksijama kao što je Mlečni put, nove zvezde se stvaraju od vodonika, koji predstavlja osnovnu sirovину za taj proces. Galaksije će nastaviti da stvaraju nove zvezde sve dok ima zaliha goriva. Ako bi naša galaksija nastavila da formira zvezde trenutnim tempom, goriva bi nestalo za „samo“ 10–20 milijardi godina (Kennicutt et al., 1994), što je mnogo kraće od životnog veka najmanjih zvezda. Postupkom konzervacije – tempo stvaranja zvezda opada sa smanjenjem zaliha goriva – galaksije mogu da održe normalno formiranje zvezda gotovo tokom životnog veka najdugovečnijih zvezda (Adams i Laughlin, 1997; Kennicutt et al., 1994). Zato će i zvezdanoj evoluciji i formiranju zvezda doći kraj otprilike u isto vreme u našoj kosmičkoj budućnosti. Kosmos će imati otprilike 10^{14} godina kada zvezde konačno zgasnu. Mada će dotle naše Sunce davno da sagori, ovo vreme označava važnu prekretnicu za svaku preživelu biosferu – raspoloživa energija biće značajno reducirana pošto se zvezde ugase.

2.6 Era degenerisanih ostataka

Pošto zvezde sagore i prestane formiranje zvezda, značajan deo mase obične materije naći će se u degenerisanim ostacima koji preostanu kada se završi zvezdana evolucija. Radi potpunosti, pak, treba pomenuti da će većina barionske

materije opstati u obliku užarenog gasa između galaksija u velikim jatima (Nagamine i Loeb, 2004). U tom budućem dobu, inventar degenerisanih objekata obuhvatiće smeđe patuljke, bele patuljke i neutronske zvezde. Degeneracija se ovde odnosi na stanje materijala visoke gustine zarobljenog u zvezdanim osta-cima. Na tako strahovitim gustinama princip isključenja u kvantnoj mehanici određuje sile pritiska koje održavaju zvezde. Na primer, kada se većina zvezda ugasi, njihovo jezgro se skuplja otprilike do prečnika Zemlje. S tom veličinom, gustina zvezdanog materijala otprilike je milion puta veća od sunčeve, a pritisak koji proizvode degenerisani elektroni sprečava zvezdu da se dalje urušava. Beli patuljci su takvi objekti i oni će sadržati najveći deo mase u nebeskim telima te epohe. Nešto dodatne mase sadržave sмеđi patuljci, a oni su u osnovi neuspeli zvezde koje nikad nisu uspele da započnu reakciju fuzije vodonika, opet zbog efekta degeneracionog pritiska. Najveće zvezde, one koje na početku imaju više nego osmostruko veću masu od Sunca, na kraju svog života eksplodiraju kao supernove. Posle eksplozije zvezdana jezgra sabijaju se do gustine od oko bili-jardu puta veće od sunčeve. Nebesko telo koje tad nastaje je neutronska zvezda, a ona se drži usled degeneracionog pritiska neutrona koji je sačinjavaju (na tako strahovitim gustinama, tipično $nekoliko \times 10^{15} \text{ g/cm}^3$, elektroni i protoni se kom-binuju i formiraju neutrone, koji čine da zvezda izgleda kao gigantsko atomsko jezgro). Pošto su samo tri ili četiri zvezde među njih hiljadu dovoljno masivne da izazovu eksploziju supernove, neutronske zvezde će biti retki objekti.

Kosmos će, tokom ove ere degeneracije, izgledati bitno drugačije nego danas. Neće biti vidljive radijacije običnih zvezda koje rasvetljavaju nebo, zagrevaju planete ili galaksijama daju bledi odsjaj kakav imaju danas. Kosmos će biti mračniji, hladniji i opustošeniji. Na ovom tamnom fonu, astronomski zanimljivi događaji odvijaće se sporo. Dok mrtve zvezde budu pratile svoje orbite, bliski susreti vodiće retkim događajima koji će primorati galaksiju da promeni sopstvenu strukturu. Neki zvezdani ostaci biće izbačeni van dosega galaksije, dok će se drugi obruša-vati ka centru. Tokom narednih 10^{20} godina, ove interakcije izazvaće dinamičko razaranje čitave galaksije (e.g., Binney i Tremaine, 1987; Dyson, 1979).

U međuvremenu, sмеđi patuljci će se sudarati i spajati, stvarajući nove zvezde male mase. Zvezdani sudari biće retki jer će galaksija biti nemilosrdno prazna. Međutim, tokom ove buduće epohe, kosmos će biti dovoljno star tako da će se neki sudari ipak desiti, a proizvodi spajanja biće često dovoljno masivni da održe fuziju vodonika. Tako nastale zvezde male mase sijaće bilionima godina. U zadatom vremenu galaksija veličine našeg Mlečnog puta imaće nekolicinu zvezda obrazovanih na ovaj netipičan način (uporedite taj broj zvezda sa oko 100 milijardi koje se danas nalaze u galaksiji).

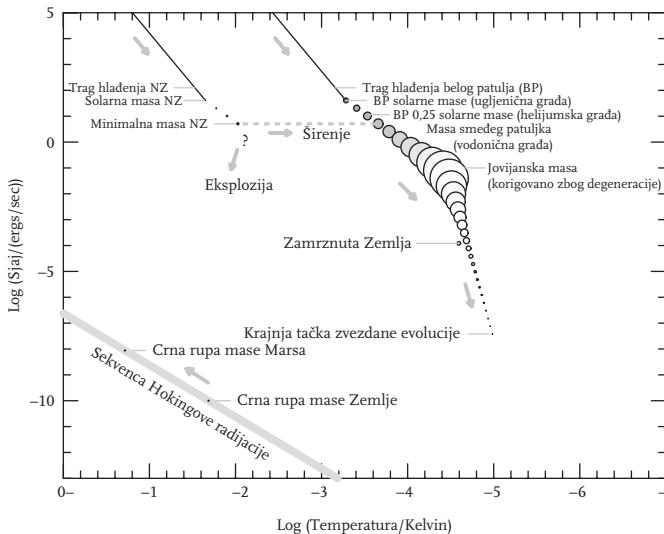
Uz smede patuljke, beli patuljci će se takođe sudarati sa otprilike sličnom uče-stalošću. U većini slučajeva, u tim sudarima nastajaće malo veći beli patuljci. Ređe će sudari belih patuljaka proizvesti nešto masivnije od Čandrasekarovog ograničenja. Ovakvi sudari završavaće eksplozijom supernove, koja će obezbe-diti spektakularnu pirotehniku spram tamne pozadine buduće galaksije.

U toj budućoj eri beli patuljci će sadržati većinu običnog barionske materije. Osim toga, oni će sporo sakupljati slabo vezane delove tamne materije koji lebde oko galaksije kao ogroman raspršeni oreol. Kada budu uhvaćeni u unutrašnjosti belog patuljka, ovi delovi će se uzajamno uništavati obezbeđujući važan izvor energije kosmosu. Anihilacija čestica tamne materije i njihovih antičestica zameniće uobičajeno nuklearno sagorevanje unutar zvezda kao dominantni izvor energije. Energija proizvedena na ovaj način biće mnogo manja od one koju je proizvodilo nuklearno sagorevanje u konvencionalnim zvezdama. Beli patuljci napajani anihilacijom tamne materije proizvode količine energije merene bilijardama vati, što je otprilike uporedivo sa energijom koju Zemlja dobija od Sunca (oko 10^{17} W). Na kraju će ipak beli patuljci biti izbačeni iz galaksije, zalih tamne materije će se potrošiti i ovome načinu generisanja energije mora doći kraj.

Iako životni vek protona ostaje neizvestan, elementarna fizička razmatranja ukazuju da protoni neće živeti večno. Tekući eksperimenti pokazuju da je životni vek protona duži od 10^{33} godina (Super-Kamiokande Collaboration, 1999), a teoretski argumenti (Adams et al., 1998; Ellis et al., 1983; Hawking et al., 1979; Page, 1980; Zeldovich, 1976) ukazuju na to da bi njegov životni vek trebalo da bude kraći od 10^{45} godina. Mada je ovaj dopušteni raspon na vremenskoj skali veoma velik, masa unutar belih patuljaka i ostalih degenerisanih ostataka na kraju će ispariti, pošto se raspadnu protoni i neutroni od kojih se ona sastoјi. Kako se protoni raspadaju unutar belog patuljka, zvezda stvara energiju po stopi koja zavisi od životnog veka protona. Oko sredine (velikog) dopuštenog raspona na vremenskim skalamama (preciznije 10^{37} godina), raspad protona unutar belog patuljka stvaraće približno 400 W energije – dovoljno za napajanje nekoliko sijalica. Čitava galaksija ovakvih zvezda bila bi manje sjajna od današnjeg Sunca. Proces raspadanja protona pretvara energiju mase čestica u radijaciju, tako da beli patuljci isparavaju. Kako se bude okončavao proces raspadanja protona, na možda 10^{40} godina od sadašnjice, iz kosmosa će nestati svi degenerisani ostaci zvezda. Ova prekretnica označava konačan kraj života kakvog ga sada pozajemo, pošto nikakav život zasnovan na ugljeniku ne može preživeti kosmičku katastrofu uzrokovani raspadom protona. Bez obzira na to, kosmos nastavlja da postoji, a astrofizički procesi se nastavljaju i nakon ovog kraja poznate biologije.

2.7 Era crnih rupa

Posle raspada protona kosmos će postati još mračniji i ređi. U to doba, kada će otprilike starost kosmosa preći 10^{45} godina, jedini preostali objekti nalik zvezdama biće crne rupe. Na njih raspad protona ne utiče i one neoštećene preživljavaju kraj prethodne ere. Ovi objekti su često definisani kao regioni prostorvremena s tako snažnim gravitacionim poljima da čak ni svetlost ne može napustiti njihovu površinu. Ali u toj kasnoj epohi crne rupe će biti najsjajniji objekti na nebu. Prema tome, čak ni crne rupe ne mogu trajati večno. One



Slika 2.2 Ovaj grafikon pokazuje dugoročnu evoluciju hladnih degenerisanih zvezda na Hercsprung-Raselovom (H-R) dijagramu. Po završetku ranih stadijuma zvezdane evolucije, beli patuljci i neutronske zvezde se hlađe do balansirane temperature određene raspadanjem protona. Ovde se pretpostavlja da je raspadanje protona izazvano gravitacijom (mikroskopskih crnih rupa) na vremenskoj skali od 10^{45} godina. Modeli belih patuljaka ucrtni su uzastopnim dvostrukim umanjenjem mase. Srednja zvezdana gustina (u $\log[\rho/g]$) označena je sivim nijansama, a veličine krugova proporcionalne su prečniku zvezda. Relativna veličina Zemlje i njen položaj na dijagramu dati su radi poređenja. Isparavanje $1M_{\odot}$, koje predstavlja neutronsku zvezdu, ilustrovano je paralelnom sekvencom koja pokazuje veoma uvećane približne prečnike radi jasnoće. Sekvenca Hawkingove radijacije crnih rupa takođe je iscrtana. Strelice pokazuju smer evolucije vremena (Odštampano s dozvolom autora; Adams, F.C., Laughlin, G., Mbonye, M., i Perry, M.J. (1998). Gravitaciona smrt hladnih degenerisanih zvezda. Phys. Rev. D, 58, 083003.)

sijaju ekstremno slabo, emitujući gotovo termalni spektar fotona, gravitona i drugih čestica (Hawking, 1974). Kroz ovaj kvantno-mehanički proces – poznat kao Hawkingovo zračenje – crne rupe pretvaraju svoju masu u radijaciju i isparavaju sporo kao glečeri (slika 2.2). U dalekoj budućnosti, crne rupe će obezbediti kosmosu primarni izvor energije.

Mada njihova proizvodnja energije Hawkingovom radijacijom neće još dugo biti važna, stopa nastajanja samih crnih rupa, pa time i njihovog budućeg sadržaja, određena je sadašnjim (i proteklim) astrofizičkim procesima. Svaka velika galaksija može da proizvede milione zvezdanih crnih rupa, koje nastaju kao rezultat smrti najmasivnijih zvezda. Kada se oforme, crne rupe mogu trajati i do 10^{70} godina. Gotovo svaka galaksija skriva supermasivnu crnu rupu u svom centru; ova čudovišta su stvorena tokom procesa formiranja galaksija, kad je kosmos bio star svega milijardu godina, ili možda i manje. One s vremenom dobijaju

na masi i u sadašnjem kosmosu su značajni izvori energije kroz akreciju materije. Dok ovako velike crne rupe takođe isparavaju kroz Hokingov proces, one ipak mogu potrajati do 10^{100} godina. Ali čak i najveće crne rupe na kraju moraju ispariti. Ova era crnih rupa biće okončana kada i najveće crne rupe u završnoj eksploziji napuste naš kosmos.

2.8 Tamna era i nakon nje

Kada starost kosmosa premaši 10^{100} godina, crnih rupa više neće biti, a kosmos će biti ispunjen otpadnim proizvodima prethodnih era: neutrinima, elektromima, antielektronima (pozitronima), česticama tamne materije i fotonima neverovatnih talasnih dužina. U toj hladnoj i udaljenoj tamnoj eri fizička aktivnost kosmosa se usporava gotovo (ali ne sasvim) do mirovanja. Raspoloživa energija je ograničena, a vremenski rasponi su zapanjujući, ali kosmos istrajno nastavlja da funkcioniše. Slučajni susreti između elektrona i pozitrona mogu da skiju pozitronijumske atome, koji su ekstremno retki u svemiru koji se širi. Dodajmo još da su takvi atomi nestabilni i na kraju se raspadaju. Dešavaju se i druge anihilacije nižeg nivoa, na primer između zaostalih čestica tamne materije. U siromaštvu ove udaljene epohe, proizvodnja energije i entropije obavljaju se sve teže.

U toj tački daleke budućnosti, predviđanja evolucije fizičkog kosmosa počinju da gube fokus. Međutim, ako prihvatimo spekulacije s više tolerancije, možemo razmotriti brojne egzotične mogućnosti. Jedan od najznačajnijih potencijalnih događaja bio bi fazni prelaz iz vakuumskog stanja kosmosa na niže energetsko stanje. Opaženo je da se naš sadašnji kosmos širi, i jedna od mogućih implikacija takvog ponašanja jeste da prazan prostor ima ne-nultu energiju povezanu s njim. Drugim rečima, prazan prostor nije zaista prazan, već sadrži pozitivnu vrednost vakuumskog energije. Ako bismo praznom prostoru dopustili da ima ne-nultu energiju (dopuštenu prema savremenim teorijama fizike elementarnih čestica), onda ostaje kao mogućnost da prazan prostor ima dva (ili više) različita stabilna energetska nivoa. U ovom potonjem slučaju, kosmos bi mogao da pređe iz sadašnjeg (visokoenergetskog) vakuumskog stanja u niskoenergetsko stanje, u nekom budućem periodu (mogućnost podsticanja takvog faznog prelaza razmotrena je u poglavlju 16). Kao što starost kosmosa raste, tako raste i verovatnoća spontanog prelaza. Nažalost, naša saznanja o vakuumskom stanju kosmosa nedovoljna su da bi se izvela jasna predviđanja po ovom pitanju – vremenska skala ovog prelaza ostaje u ogromnoj meri neizvesna. Bez obzira na sve, takav fazni prelaz i dalje je zanimljiva mogućnost. Ako će kosmos doživeti vakuumski fazni prelaz, onda ostaje moguće (mada ne i izvesno) da bi se određeni aspekti fizičkih zakona (na primer, mase čestica i/ili jačine sila) mogli izmeniti, pružajući tako kosmosu priliku za novi početak.

2.9 Život i obrada informacija

Razmatranje u ovom poglavlju bilo je fokusirano na fizičke procese koji se mogu odigrati u dalekoj budućnosti. Ali šta je sa životom? Koliko daleko u budućnosti mogu opstati živi organizmi? Mada je ovo pitanje fundamentalno važno i privlači ogromnu pažnju, sadašnje poznavanje biologije nije dovoljno da bi nam pružilo jasan odgovor. Da dalje zakomplikujemo stvari, protoni se moraju na kraju raspasti, kao što je već istaknuto, tako da će životu na bazi ugljenika definitivno doći kraj. Bez obzira na to, možemo da analiziramo pojedine osnovne principe, ako smo bili voljni da zauzmemos uopšten pogled na život i posmatramo ga kao proces obrade informacija. Ovaj ugao gledanja započeo je Frimen Dajson (1979), koji je tvrdio da stopa metabolizma, ili obrade informacija unutar uopštene životne forme, treba da bude proporcionalna njegovoj radnoj temperaturi.

Ako naš kosmos ubrzava, kao što tekuća osmatranja ukazuju, onda će količina materije, a time i energije raspolažive određenom kosmosu, biti konačna. Ukoliko radna temperatura života ostane konstantna, onda će ova ograničena slobodna energija na kraju biti potrošena i život će se svršiti. Jedina mogućnost opstanka je snižavanje radne temperature života. Preciznije, temperatura mora opadati dovoljno brzo da omogući neograničenu količinu obrade informacija uz ograničenu količinu slobodne energije.

Prema Dajsonovoj hipotezi skaliranja, sa opadanjem temperature, opada i stopa obrade informacija, pa prema tome i kvalitet života. Razmatrane su raznovrsne strategije za rešavanje ovog problema, među njima i tema digitalnog života nasuprot analognom, održavanja dugoročnog opstanka dugim periodima sna (hibernacijom), kao i pitanje kvantno-mehaničke nasuprot klasičnoj obradi informacija (e.g., Dyson, 1979; Krauss i Starkman, 2000). Iako definitan zaključak nije izveden, izgledi za prođeni (beskonačan) opstanak života prilično su sumorni. Najveća prepreka je, izgleda, stalno ubrzavanje kosmosa koje će ograničiti zalihe slobodne energije. Ako bi tekućem ubrzavanju došao kraj, tako da se budući kosmos sporije širi, onda bi život imao bolje izglede za dugoročni opstanak.

2.10 Zaključak

Kao što je opisano u dobro poznatoj pesmi Roberta Frosta, svet može skončati ili u vatri ili u ledu. U ovde razmatranom astronomskom kontekstu, Zemlja ima samo malu šansu da izbegne vatreni bes crvenog diva Sunca, tako što će biti otrgnuta iz svoje orbite i izbačena u ledenu pustoš dubokog svemira. Stoga će ovaj naš svet verovatno završiti svoj život u vatri. Računajući da čovečanstvo ima nekoliko milijardi godina da predviđa i suoči se sa ovim događajem, ima nade da bi moglo nastupiti raseljavanje po kosmosu, pod uslovom da budu izbegnute egzistencijalne katastrofe opisane u drugim poglavljima ove knjige.

Jedna alternativa bila bi da prolazeća zvezda zaluta blizu unutrašnjeg pojasa našeg Sunčevog sistema. U tom malo verovatnom slučaju, remetilački gravitacioni efekti bliskog susreta mogli bi primorati Zemlju da napusti svoju orbitu i ode u izgnanstvo iz Sunčevog sistema. Tada bi naš svet izbegao smrt u kotlu, ali bi se suočio s ledenom budućnošću.

Slična sudbina čeka Sunce, Galaksiju i kosmos. Na kraju svog života kao obične zvezde, Sunce će postati beli patuljak. Ovaj zvezdani ostatak će se dalje hladiti, a njegovo jezgro će atrofirati do nižih atomskih brojeva, kao posledica raspadanja protona. Dugoročno gledano, Sunce će završiti kao maleni blok vodoničnog leda. Kako se bude suočavala sa sopstvenom propašću, naša galaksija će postepeno isparavati, razbacujući svoja nebeska tela po međugalaktičkom prostoru. Efektivna temperatura zvezdanog sistema određena je energijama njezinih zvezdanih orbita. U dalekoj budućnosti, ove energije će pasti na nulu i Galaksija će završiti svoj život u hladnom stanju. Za kosmos kao celinu, izgledi su podjednako turobni, ali mnogo bolje definisani. Trenutno raspoložive astronomске informacije ukazuju da će se kosmos širiti zauvek, ili bar dovoljno dugo da već opisani vremenski raspon ukine sopstveni smisao. Otuda će kosmos kao celina verovatno biti sve hladniji i predstoji mu ledena smrt.

U početku, pre otprilike 14 milijardi godina, mlad kosmos sastojao se od elementarnih čestica i zračenja – uglavnom zato što je okruženje bilo previše toplo da bi postojale veće strukture. Na ovom mestu saznajemo da će se kosmos u dalekoj budućnosti takođe sastojati od elementarnih čestica i zračenja – u ovom slučaju zato što će kosmos biti prestar da bi veći entiteti ostali netaknuti. Iz ove grandiozne perspektive, galaksije, zvezde i planete koje danas naseljavaju kosmos, samo su prolazni fenomeni osuđeni da nestanu kroz porozni pesak vremena. Zvezdani ostaci, uključujući tu i naizgled na sve otporne crne rupe, takođe su predviđeni da se raspadnu. Čak i tako bazične čestice kao što su protoni, neće trajati večno. Pepeo pepelu, prah prahu, čestice česticama – takav je konačan usud našeg kosmosa.

Preporuke za dalje čitanje

- Adams, F.C. and Laughlin, G. (1997). Our dying universe: the long term fate and evolution of astrophysical objects. *Rev. Mod. Phys.*, **69**, 337. Ovaj pregled ističe fiziku dugoročne budućnosti kosmosa i astrofizičkih objekata koji ga sačinjavaju (napredni nivo).
- Adams, F.C. and Laughlin, G. (1999). *Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity* (New York: The Free Press). Pruža objašnjenje buduće istorije kosmosa na popularnom nivou.
- Ćirković, M. M. (2003). Resource letter Pes-1: physical eschatology. *Am. J. Phys.*, **71**, 122. Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled naučne literature koja se tiče budućnosti kosmosa (od 2003. godine). Tretman je širok i isto tako sadrži knjige, popularna razmatranja i filozofske poglede (napredni nivo).

- Dyson, F.J. (1979). Time without end: physics and biology in an open universe. *Rev. Mod. Phys.*, **51**, 447. Ovaj pregled predstavlja jedan od prvih sveobuhvatnih tretmana budućnosti kosmosa i uključuje raspravu o budućnosti komunikacija i biologije (napredni nivo).
- Islam, J.N. (1983). *The Ultimate Fate of the Universe* (Cambridge: Cambridge University Press). Ova knjiga među prvima pruža objašnjenje budućnosti kosmosa na popularnom nivou i prvi put pokreće mnoga naknadno raspravlјana pitanja.
- Rees, M. (1997). *Before the Beginning: Our Universe and Others* (Reading, MA: Addison-Wesley). Ova knjiga pruža tretman rođenja kosmosa na popularnom nivou i stoga predstavlja polaznu tačku za rasprave o našoj kosmičkoj budućnosti.

Referentna literatura

- Adams, F.C. and Laughlin, G. (1997). Adying universe: the long term fate and evolution of astrophysical objects. *Rev. Mod. Phys.*, **69**, 337.
- Adams, F.C., Laughlin, G., and Graves, G.J.M. (2004). Red dwarfs and the end of the main sequence. *Rev. Mexican Astron. Astrophys.*, **22**, 46.
- Adams, F.C., Laughlin, G., Mbonye, M., and Perry, M.J. (1998). Gravitational demise of cold degenerate stars. *Phys. Rev. D*, **58**, 083003.
- Binney, J. and Tremaine, S. (1987). *Galactic Dynamics* (Princeton, NJ: Princeton University Press).
- Busha, M.T., Adams, F.C., Evrard, A.E., and Wechsler, R.H. (2003). Future evolution of cosmic structure in an accelerating universe. *Astrophys. J.*, **596**, 713.
- Caldeira, K. and Kasting, J.F. (1992). The life span of the biosphere revisited. *Nature*, **360**, 721.
- Ćirković, M.M. (2003). Resource letter PEs-1: physical eschatology. *Am. J. Phys.*, **71**, 122–133.
- Dyson, F.J. (1979). Time without end: physics and biology in an open universe. *Rev. Mod. Phys.*, **51**, 447.
- Ellis, J., Hagelin, J.S., Nanopoulos, D.V., and Tamvakis, K. (1983). Observable gravitationally induced baryon decay. *Phys. Lett.*, **B124**, 484.
- Garnavich, P.M., Jha, S., Challis, P., Clocchiatti, A., Diercks, A., Filippenko, A.V., Gilliland, R.L., Hogan, C.J., Kirshner, R.P., Leibundgut, B., Phillips, M.M., Riess, D., Riess, A.G., Schmidt, B.P., Schommer, R.A., Smith, R.C., Spyromilio, J., Stubbs, C., Suntzeff, N.B., Tonry, J., and Carroll, S.M. (1998). Supernova limits on the cosmic equation of state. *Astrophys. J.*, **509**, 74–79.
- Hawking, S.W. (1974). Black hole explosions? *Nature*, **248**, 30.
- Hawking, S.W., Page, D.N., and Pope, C.N. (1979). The propagation of particles in space-time foam. *Phys. Lett.*, **B86**, 175.
- Kasting, J.F. (1988). Runaway and moist greenhouse atmospheres and the evolution of Earth and Venus. *Icarus*, **74**, 472.
- Kennicutt, R.C., Tamblyn, P., and Congdon, C.W. (1994). Past and future star formation in disk galaxies. *Astrophys. J.*, **435**, 22.
- Korycansky, D.G., Laughlin, G., and Adams, F.C. (2001). Astronomical Engineering: a strategy for modifying planetary orbits. *Astrophys. Space Sci.*, **275**, 349.

- Krauss, L.M. and Starkman, G.D. (2000). Life, the Universe, and Nothing: life and death in an ever-expanding universe. *Astrophys. J.*, 531, 22.
- Laughlin, G. and Adams, F.C. (2000). The frozen Earth: binary scattering events and the fate of the Solar System. *Icarus*, 145, 614.
- Laughlin, G., Bodenheimer, P., and Adams, F.C. (1997). The end of the main sequence. *Astrophys. J.*, 482, 420.
- Nagamine, K. and Loeb, A. (2003). Future evolution of nearby large-scale structures in a universe dominated by a cosmological constant. *New Astron.*, 8, 439.
- Nagamine, K. and Loeb, A. (2004). Future evolution of the intergalactic medium in a universe dominated by a cosmological constant. *New Astron.*, 9, 573.
- Page, D. N. (1980). Particle transmutations in quantum gravity. *Phys. Lett.*, B95, 244.
- Peebles, P.J.E. (1994). Orbits of the nearby galaxies. *Astrophys. J.*, 429, 43.
- Perlmutter, S., Aldering, G., Goldhaber, G., Knop, R.A., Nugent, P., Castro, P.G., Deustua, S., Fabbro, S., Goobar, A., Groom, D.E., Hook, I.M., Kim, A.G., Kim, M.Y., Lee, J.C., Nunes, N.J., Pain, R., Pennypacker, C.R., Quimby, R., Lidman, C., Ellis, R.S., Irwin, M., McMahon, R.G., Ruiz-Lapuente, P., Walton, N., Schaefer, B., Boyle, B.J., Filippenko, A.V., Matheson, T., Fruchter, A.S., Panagia, N., Newberg, H.J.M., and Couch, W.J. (1999). Measurements of and from 42 high-redshift supernovae. *Astrophys. J.*, 517, 565–586.
- Riess, A.G., Filippenko, A.V., Challis, P., Clocchiatti, A., Diercks, A., Garnavich, P.M., Gilliland, R.L., Hogan, C.J., Jha, S., Kirshner, R.P., Leibundgut, B., Phillips, M.M., Reiss, D., Schmidt, B.P., Schommer, R.A., Smith, R.C., Spyromilio, J., Stubbs, C., Suntzeff, N.B., and Tonry, J. (1998). Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant. *Astron. J.*, 116, 1009–1038.
- Rybicki, K.R. and Denis, C. (2001). On the final destiny of the Earth and the Solar System. *Icarus*, 151, 130.
- Sackmann, I.J., Boothroyd, A.I., and Kramer, K.E. (1993). Our Sun III: present and future. *Astrophys. J.*, 418, 457.
- Spergel, D.N., Verde, L., Peiris, H.V., Komatsu, E., Nolta, M.R., Bennett, C.L., Halpern, M., Hinshaw, G., Jarosik, N., Kogut, A., Limon, M., Meyer, S.S., Page, L., Tucker, G.S., Weiland, J.L., Wollack, E., and Wright, E.L. (2003). First-year Wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) Observations: determination of cosmological parameters. *Astrophys. J. Suppl.*, 148, 175–194.
- Super-Kamiokande Collaboration. (1999). Search for proton decay through $p \rightarrow \nu K^+$ in a large water Cherenkov detector. *Phys. Rev. Lett.*, 83, 1529.
- Zeldovich, Ya.B. (1976). A new type of radioactive decay: gravitational annihilation of baryons. *Phys. Lett.*, A59, 254.

.3.

Teorija evolucije i budućnost čovečanstva

Kristofer Vils

3.1 Uvod

Nema naučnog polja koje je bolje rasvetlilo prošlost i budućnost naše vrste od evolucione biologije. Odnedavno, porastao je tempo novih otkrića o tome kako smo evoluirali kao vrsta. (Culotta i Pennisi, 2005).

Sada je jasno da smo manje izuzetni nego što smo mislili. Prikupljaju se genetički i paleontološki dokazi o tome da su hominidi s visokim nivoom inteligencije, sposobnošću da prave oruđa i verovatno da komuniciraju, nezavisno evoluirali više puta. Evoluirali su u Africi (naši preci), u Evropi (precii Neandertalaca) i na jugoistoku Azije (čudesni „hobiti“, koji bi mogli biti minijaturni i visoko akulturisani uspravni ljudi (*Homo erectus*)).

Takođe postaje jasno da se mogu pronaći geni koji doprinose karakteristikama naše vrste, i da se istorije tih gena mogu razumeti. Poređenja čitavih genoma pokazala su da su geni uključeni u moždane funkcije evoluirali brže kod hominida, nego kod srodnog udaljenijih primata.

Sada se mogu istražiti genetičke razlike među grupama ljudi. Karakteristike koje smo smatrali izuzetno važnim oznakama koje nam omogućavaju da razlikujemo grupe ljudi, sad su razumljive na genetičkom nivou, a njihova genetička istorija može se pratiti. Nedavno je između Evropljana i Afrikanaca otkrivena razlika u jednom alelu (Lamason et al., 2005). Ova funkcionalna razlika u alelima odgovorna je otprilike za trećinu u razlici pigmentacije kože kod ovih grupa. Uprkos velikoj važnosti koja im se pridaje u ljudskim društвima, razlike u boji kože rezultat su prirodne selekcije na malom broju gena koji nemaju nikakav drugi efekat osim samog uticaja na boju kože.

Kako se ova i druga skorašnja otkrića, iz grana u rasponu od paleontologije do molekularne biologije, uklapaju u današnje evolucione teorije, i kakvo svetlo bacaju na moguću evoluciju naše vrste u budućnosti?

Načiniću uvod u ovo pitanje kratkim pogledom na način kako se odvija evoluciona promena. Onda ću se osvrnuti na ulogu promena okruženja koje su rezultirale evolucionim promenama u prošlosti, i napraviću ekstrapolaciju od tih proteklih promena ka promenama koje očekujemo kratkoročno i dugoročno u budućnosti. Ove promene biće postavljene u kontekst onoga što trenutno

znamo o evoluciji naše vrste. Podeliću ih na fizičke i promene koje potiču od izmena naših sopstvenih intelektualnih mogućnosti. Pokazaće da su potonje igrale i nastaviće da igraju veliku ulogu u našoj evoluciji i u evoluciji drugih životinjskih i biljnih vrsta s kojima smo u dodiru. Najzad, osvrnuću se na specifičan pogled ka mogućem kursu buduće evolucije naše vrste i drugih vrsta od kojih zavisimo.

3.2 Uzroci evolucione promene

Evolucione promene u populaciji, kako ljudskoj tako i svih ostalih organizama, zavise od pet faktora.

Prvi i verovatno najvažniji jeste mutacija. Evolucija zavisi od činjenice da se genetički materijal ne replikuje precizno, već se greške neumitno uvode dok se geni prenose s jedne generacije na sledeću. Da nema mutacije, evoluciona promena bi išla sve sporije i na kraju bi stala.

Efekti mutacija nisu nužno u korelaciji s veličinom samih mutacionih promena. Pojedinačne promene u osnovnoj sekvenci DNK ostaće bez efekta, ili bez dubokih efekata na fenotip – razlike u alelima koje utiču na boju kože, kao što je rečeno u odeljku 3.1, mogu se pratiti do jedne promene baze sa G na A u osnovi, čime se menja jedna aminokiselina u belančevini iz alanina u treonin. Na drugom kraju spektra čitava udvostručenja brojeva hromozoma, koja se često dešavaju kod biljaka, a rede kod životinja, mogu dramatično narušiti razvoj – ljudske bebe koje imaju dvostruko više hromozoma od normalnog broja, umiru ubrzo posle rođenja. Ali čak i takvo udvostručenje ponekad može imati mali efekat na organizam.

Nedavno je otkriven fascinantni izvor promena nalik mutacionim. Virusi i drugi delovi DNK mogu preneti gene s jedne životinje, biljke ili bakterijske vrste na drugu, procesom poznatim kao horizontalni prenos gena. Takvi prenosi nai-zgled su imali malu ulogu u našoj skorašnjoj istoriji, ali bili su povezani sa sticanjem važnih novih sposobnosti u prošlosti: poreklo našeg adaptivnog imunog sistema jedan je izvanredan primer (Agrawal et al., 1998).

Najvažniji mehanizam koji odlučuje o tome koje će mutacione promene biti očuvane, a koje odbačene, jeste prirodna selekcija. Mi obično mislimo da prirodna selekcija stupa na scenu kada se promeni okruženje. Ali promena okruženja nije suštinski važna za evoluciju. Darwin je shvatio da se prirodna selekcija odvija neprestano. U svakoj generaciji, čak i ako je okruženje nepromenjeno, najspasobniji organizmi imaju najviše izgleda da prežive i proizvedu potomke. Nove mutacije će nastaviti da se javljaju, od kojih će nekoliko omogućiti svojim nosiocima da bolje iskoriste svoje okruženje čak i ako se ono ne menja.

Danas je utvrđeno da prirodna selekcija često funkcioniše radi očuvanja genetičke varijacije u populacijama. Ovaj tip selekcije, nazvan uravnoteženje selekcije,

ishodi iz balansa selektivnih pritisaka koji deluju na genetičku varijaciju. Može se sresti u mnogo oblika (Garrigan i Hedrick, 2003). Prednost heterozigota konzervira štetne srpastećelije u ljudskoj populaciji, pa stoga ljudi sa heterozigotnim alelima imaju bolju otpornost prema efektima malarije. Pretežniji tip uravnoteženja selekcije jeste selekcija zavisna od učestalosti, u kojoj mutirani alel može biti koristan dok je redak, ali gubi korisnost kako mu učestalost raste. Takva selekcija ima sposobnost održanja mnogih alela na genetičkom lokusu u populaciji.

Još tri faktora igraju važne, ali obično podređene uloge u evolucionoj promeni: genetička rekombinacija, slučajni efekti uzrokovani genetičkim driftom i protok gena među populacijama.

Bilo je tvrdnji da ti evolucioni procesi imaju malo efekta na našu vrstu u savremeno doba (Jones, 1991). Ako je tako, to je prosto zato što naša vrsta prolazi kroz jedan od retkih mirnih perioda u svojoj istoriji. Tokom evolucionog treptaja za poslednjih 10.000 godina, od razvijeta poljoprivrede i uspona tehnologije, naša populacija se dramatično uvećala. Kao rezultat, veliki broj pojedincaca koji bi inače umrli, mogao je da preživi i da se reprodukuje. Sugerisao sam i drugde (Wills, 1998), a i ovde ću kasnije obrazložiti tezu da ovaj mirni period može uveliko biti iluzija. Moćni psihološki pritisci i novi faktori okruženja (Spira i Multigner, 1998) igraju veliku ulogu u određivanju ko će se među nama reprodukovati.

Izgleda verovatno da će ovom mirnom periodu (ukoliko on to uopšte i jeste) uskoro doći kraj. Ova knjiga razmatra mnoge moguće scenarije za takvo oživljavanje snage prirodne selekcije, a u ovom poglavљу ja ću razmotriti kako ti scenariji mogu da utiču na našu buduću evoluciju.

3.3 Promene okruženja i evolucione promene

Kao što sam već ranije istakao, evoluciona promena može se nastaviti čak i u odsustvu promene okruženja, ali će onda njen tempo verovatno usporiti, zato što će onda primarno „fino doterivati“ organizme koji su već dobro prilagođeni na okruženje. Kada se dese promene u okruženju, one podstiču tempo evolucionih promena a takođe mogu da obezbede prednost kod novih prilagođavanja koja ne bi bila selektirana u nepromenljivom okruženju. Kakvi će biti evolucioni efekti promene okruženja koju možemo očekivati u budućnosti? Radi procena mogućnosti takvih efekata, moramo početi razmatranjem evolucionih posledica promena koje su se desile u prošlosti. Pogledajmo najpre završene evolucione promene, u kojima su evolucione posledice promena okruženja potpuno realizovane, a onda ćemo razmotriti tekuće evolucione promene u okviru kojih su evolucione promene koje proističu iz promene okruženja tek počele da se dešavaju.

3.3.1 Ekstremne evolucione promene

Tokom istorije života, promene okruženja i iz njih rezultujuće evolucione promene, ponekad su bile tako ekstremne da su izazivale masovna izumiranja. I pored toga, uz dovoljno vremena biosfera naše planete može da se oporavi i povrati nekadašnju raznolikost. Uzmimo u obzir katastrofu koja je zadesila Zemlju pre 65 miliona godina. Kratkim opisom onoga što se desilo teško može preneti sva njegova ozbiljnost.

Jednoga dana, pre oko 65 ± 1 miliona godina, bez upozorenja, asteroid prečnika 10 km grunuo je u atmosferu iznad poluostrva Jukatan, pod oštrim uglom sa jugoistoka. Prešao je razdaljinu iz gornjeg sloja stratosfere do morskog plićaka za 20 sekundi, zagrevajući okolni vazduh do plavog usijanja. Asteroid je pljusnuo u okean i prodro kroz morsko dno, probivši najpre Zemljinu koru i zarivši se u tečni omotač lave ispod nje. Učinivši to, zagrejao se i eksplodirao. Oslobođena energija bila je jednaka količini od 100 miliona megatona TNT-a, i bar milion puta jača od najveće hidrogenske bombe koju smo mi ljudi ikad aktivirali. Atmosferski udarni talas prešao je brzinom nekoliko puta većom od zvuka preko Severne Amerike, paleći sve šume na svom putu. Mešavina materijala zemljine kore i lave eruptirala je ka nebu, hlađeći se i obrazujući ogroman smrtonosni oblak koji se širio. Udarni talasi jurili su kroz Zemljinu koru izazivajući zemljotrese jačine 10 na čitavoj planeti, a 300 metara visok cunami talas proširio je razaranje na širok pojas duž svih zemljinih priobalnih regiona. Vulkanji su oživeli duž linija velike raseline planete, dodajući sopstvena štetna isparjenja i prašinu đavoljoj smesi koja se nakupljala u atmosferi.

Najveći broj životinja i biljaka koje su živele na jugu Severne Amerike i u severnim delovima Južne Amerike, stradao je usled direktnih efekata udara. Tokom narednih šest meseci, koliko je veliki oblak prašine prekrivao Zemlju zaklanjući sunčevu svetlost, podleglo je još mnogo životinja i biljaka. Nije bilo utočišta ni na kopnu ni na moru. Ugljen dioksid oslobođen udarom velikog meteora izazvao je nagli porast temperature širom sveta (Beerling et al., 2002). Dinosaurusi su nestali zajedno sa svim letećim i okeanskim reptilima, i obiljem amonita s kućicama nalik nautilusu, koji su obitavali u okeanimima; među sisarima i pticama samo ih je nekolicina preživela.

Kad se prašina na kraju slegla, pejzaž je bio sablasno nalik mesečevoj površini, uz samo nekoliko stidljivih paprati koje su virile iz pukotina sprženih stena i zemlje, i nekoliko sitnih sisara i očerupanih ptica koje su preživljavale na poslednjim zalihamama semenki. Bilo je potrebno skoro milion godina da Zemlja vrati svoju predašnju zelenu bujnost. A onda još 4 miliona godina pre nego što će nove vrste sisara ispuniti sve ekološke praznine koje su za sobom ostavili preovladajući reptili.

Udari tako velikih asteroida, kao ovaj što je zbrisao dinosauruse su retki, i verovatno se nisu desili više od dva ili tri puta tokom poslednjih pola milijarde godina. Ali tokom tog perioda desilo se bar sedam manjih udara, od kojih je svaki bio dovoljno ozbiljan da izazove talas izumiranja. Svaki je bio praćen

periodom oporavka koji je mogao trajati po nekoliko miliona godina (mada su mnogi periodi oporavka trajali kraće od toga (Alroy et al., 2001)). Tokom tih perioda oporavka i dalje su se dešavala izumiranja, a pojavljivali su se novi ogranci životinja i biljaka.

Asteroidi nisu jedini izvor razaranja okruženja. Masivne vulkanske erupcije koje su se dogodile pre otprilike 251 milion godina bile su verovatno uzrok najmasovnijeg talasa izumiranja na našoj planeti, u periodu prelaska iz perma u trijas (e.g., Benton, 2003). U skladu s tako nasilnim događajem, u biosferi su nastale duboke promene. Događaj je pokrenuo lanac evolucione promene, koja je dovela do pojave terapsida, reptila nalik sisarima (mada su se terapsidi sa izvesnim karakteristikama sisara pojavili pre događanja izumiranja). Takođe je dao naslednicima dinosaurusa priliku da se prošire u ispražnjene ekološke prostore, iako se najraniji dinosaurusi o kojima imamo podataka, kao fosili nisu pojavili sve do 20 miliona godina nakon same epizode izumiranja (Flynn et al., 1999).

Svršeni katastrofalni događaji karakterišu se masovnim izumiranjima i dovoljnim vremenskim periodom za oporavak. Uopšteno rečeno, što je žešći bio događaj izumiranja, više je bilo razlika koje su odvajale svet pre događaja od oporavljenog sveta. Karakteristike oporavljenog sveta uveliko su oblikovane tipovima organizama koji su preživeli katastrofu, ali mogle su se dešavati kompleksne i neočekivane sledstvene interakcije. Terapsidi s nekim karakteristikama sisara preživeli su permско-trijasko izumiranje, a potomci ovih preživelih terapsida dominirali su svetom velikim delom perioda trijasa. Ipak, polovinom trijasa terapsidi su počeli da gube tle. Dinosaurusi su počeli da dominiraju prostorom upražnjenim za velike kopnene životinje, što je uzrokovalo da taj sukob prežive samo linije malenih sisara koje su se hranile biljkama i insektima. Uprkos tome, izvesni sisari uspeli su da zauzmu naročite prostore i izrastu do pozamašne veličine (Ji et al., 2006), dok su neki bili dovoljno veliki i divlji da su mogli da napadaju manje dinosauruse (Hu et al., 2005). Kasnije izumiranje u porieou kreda-tercijar, pružilo je sisarima priliku da ponovo preuzmu svet od dinosaurusa.

3.3.2 Tekuće evolucione promene

Masovno izumiranje, kao što je ono u periodu kreda-tercijar, ima male izglede za dešavanje u bilo kom kratkom periodu, a ta je mogućnost tokom zemaljske istorije varirala samo umereno, bar pre nastupa ljudskog roda. Ali čak iako su tako veliki događaji neizvesni u bližoj budućnosti, manje dramatične promene okoline, od kojih su mnoge podstaknute našim aktivnostima, dešavaju se i u savremeno doba. Glečeri su napredovali i povlačili se bar 11 puta tokom poslednjih 2,4 miliona godina. Raznovrsnost kičmenjaka pre početka ove serije ledenih doba bila je mnogo veća od raznovrsnosti današnjih kičmenjaka (Barnosky et al., 2004; Zink i Slowinski, 1995). Vremenski bliže nama, ljudski je lov pruškovao čitav talas izumiranja velikih sisara i ptica tokom kasnog pleistocena (Surovell et al., 2005).

Jasno je da će relativno blago opadanje u broju vrsta koje se desilo usled klimatske promene na prelasku iz pliocena u pleistocen, i usled ljudskog faktora u pleistocenu, verovatno postati značajno oštire. Neki od razmatranih scenarija najgoreg slučaja u budućnosti obuhvataju sve od početka tako surovog ledenog doba da će se planeta slediti od polova do ekvatora, do serije nuklearnih ratova ili vulkanskih erupcija koje će nepovratno zatrovati atmosferu i okeane. Ako se, međutim, tako strašni scenariji ne ostvare, imamo dobre izglede da se usaglasimo sa okruženjem i usporimo stopu izumiranja.

Kao što smo videli, promene u okruženju mogu da otvore nove prilike za evolucione promene, ali i da ih zatvore kroz izumiranje. Čak i male promene u okruženju ponekad mogu da imaju dramatične evolucione posledice tokom kratkih perioda vremena. Tri vrste diploidnih cvetnih biljaka (*Tragopogon*, *Asterraceae*) prenete su pre oko 100 godina iz Evrope na zapad države Vašington u Severnoj Americi. Ubrzo potom, dve tetraploidne vrste razvile su se iz različitih kombinacija ovih diploida bez ljudske intervencije (iako se takve tetraploide nisu javile u njihovoј postojbini, Evropi). Proučavanja DNK pokazala su da se tokom nekoliko decenija desilo mnoštvo genetičkih modifikacija kod ove dve tetraploide (Cook et al., 1998). Ovaj izveštaj i mnoge slične priče o brzom i nedavnom evolucionom razvoju i kod biljaka i kod životinja, ukazuju da se evolucione promene mogu desiti u okviru perioda ljudskog veka.

Nove analize fosilnih zapisa ukazuju da oporavak do ranijih stepena raznovrsnosti, čak i posle strahovitih katastrofa u okruženju, može biti brži nego što se ranije mislilo (Alroy et al., 2001). Današnja raznovrsnost ekosistema takođe bi se mogla brzo uspostaviti posle manjih poremećaja. Nedavno smo pokazali da su nivoi raznovrsnosti ekosistema tropskih šuma otporni, pa iako se šume ne oporavljuju lako posle teških oštećenja okruženja, raznovrsnost je prednost koja doprinosi brzom oporavku nakon ograničenih oštećenja (Wills et al., 2006).

Mogućnost brzog evolucionog odgovora na promene okruženja u našoj vrsti, ništa ne ilustruje živopisnije od otkrića dotad nepoznate vrste hominida, nazvanih „hobiti“, 2004. godine. Ovi mali ljudi, visoki oko jednog metra, živeli su na ostrvu Flores, a verovatno i na drugim ostrvima koja danas čine Indoneziju, pre svega oko 12.000 godina (Brown et al., 2004). Zvanično su nazvani *Homo floresiensis*, ali ja slutim da će im ostati naziv „hobiti“. Kraj njihovih ostataka nađena su prefinjena oruđa koja pružaju snažne dokaze da su ovi ljudi, koji nisu imali veći mozak od šimpanzi, ipak bili vešti korisnici tih oruđa i lovci. Kameni vrhovi i sečiva, uključujući i mala sečiva koja su pokazivala tragove izrađenih ručki, bila su pronađena u istom sloju kao i ostaci skeleta (Brown et al., 2004). Korišćenjem tih oruđa hobiti su mogli da ubiju (a možda i da dovedu do istrebljenja) pigmejske mastodonte sa kojima su živeli na ostrvima.

Verovatno je da su hobiti imali fizički veće pretke i da su sami bili selektirani po manjoj prosečnoj visini kada su njihovi preci naselili ostrva kao što je Flores, na kojima je hrana bila ograničena. Samo je ta, relativno mala, promena fizičkog okruženja koja je ipak imala značajan efekat na opstanak, selektovala sniženje

stasa kod hobita. Istovremeno, nove mogućnosti za lov i pritisci selekcije mora da su podstakli njihovu sposobnost da izrađuju prefinjena oružja.

Predak hobita mogao je biti „uspravni čovek“ (*Homo erectus*), iz loze hominida koja se od naše jasno razlikovala gotovo 2 miliona godina. Ali, zagonetno, osobine skeleta hobita ukazuju da su oni zadržali mešavinu različitih morfoloških karakteristika, od kojih su neke datirale iz perioda od pre 3 miliona godina, i mnogo pre evolucije roda *Homo*. Istorija hobita verovatno je duža i složenija nego što trenutno možemo da zamislimo (Dennell i Roebroeks, 2005).

Određivanje jesu li hobiti potomci *Homo erectusa*, ili još ranije loze *Homo habilis*, zahtevalo bi dokaze analizom DNK. Do danas još nije izolovana DNA iz kostiju hobita, zato što su skeleti bili natopljeni vodom i loše očuvani. U nedostatku takvih dokaza nije moguće ništa drugo do naglašanja o tome koliko je hobitima trebalo da evoluiraju od većih predaka. Ali, kada se pronađu bolje očuvani ostaci hobita i iz njih dobije sekvenca DNA, mnogo će bolje biti rasvetljeni detalji ovog slučaja brze i produžene sposobnosti evoluiranja nekih od njih najbližih srodnika.

Na evoluciju hobita snažno je uticala kolonizacija ostrva koju su izveli njihovi preci. Takve kolonizacije su čest uzrok evolucionih promena i kod životinja i biljaka. Da li je moguće da bi slična kolonizacija u budućnosti mogla izazvati sličnu diversifikaciju tipova ljudi?

Odgovor na to pitanje zavisi od širine i efekta protoka gena između pripadnika naše vrste. U ovom trenutku razlike između grupa ljudi se smanjuju zato što je protok gena omogućen brzim i lakim putovanjem. Zato je izuzetno malo verovatno da će se genetički razviti različite grupe ljudi, pošto one neće biti izolovane. Ali širok protok gena možda se neće nastaviti u budućnosti. Razmotrite jedan mogući scenario opisan u sledećem pasusu.

Ako rezultat globalnog zagrevanja bude topla klima od pola do pola, kao što je to tipično bilo u miocenu, nivo mora će se brzo podići za 80 metara, pošto će se svi glečeri na svetu otopiti (Williams i Ferrigno, 1999). Zavisno od brzine otopanja, nivo podizanja mora biće praćen uzastopnim cunamijima, onako kako se antarktičke ledene kape koje sada leže na kopnu, budu spuštale u more. Takođe će doći do masivnih poremećaja u strukturi cirkulacije u okeanu, uključujući tu i promenu ili nestanak Golfske struje. Takve promene bi lako mogle značajno smanjiti površinu obradive zemlje na planeti – na primer, čitava centralna dolina u Kaliforniji i veći deo jugoistoka Sjedinjenih Država bio bi ispod vode. Ako bi se promene desile naglo, bile bi praćene značajnim društvenim potresima, koji bi možda doveli do ratovanja oko preostalih resursa. Gotovo izvesno bilo bi značajnih ljudskih gubitaka, uz još goru situaciju u slučaju izbijanja nuklearnog rata. Ako se promene dese dovoljno sporo, moguće je da će promene u našem ponašanju i razvoju novih poljoprivrednih tehnologija ublažiti njihov udar.

Kakve će biti evolucijske posledice takvih promena na našu vrstu? Zahvaljujući širokoj rasprostanjenosti i prenosivosti ljudske tehnologije, verovatno se neće potpuno izgubiti sposobnost putovanja i komuniciranja na daljinu pri-

takvim katastrofama, osim u slučaju da poremećaji okruženja budu ekstremni. Ali, ako brz pad populacije prate društveni kolaps i gubitak tehnologije, rezultat može biti i geografska podeljenost naše vrste. Onda bi se mogao desiti nastavak genetičkog razdvajanja između grupa ljudi, koje se već jednom desilo pre Doba istraživanja (čiji je jedan ekstremni primer evolucija hobita). Međutim, samo pod izuzetno neprijateljskim uslovima razdvajanje bi potrajalo dovoljno dugo da bi jasno različite kombinacije gena ostale fiksirane kod različitih izolovanih grupa. U svim, sem u najekstremnijim scenarijima, tehnologija i komunikacija bile bi uspostavljene u roku od nekoliko generacija, i protok gena među grupama ljudi bio bi nastavljen.

3.3.3 Promene kulturnog okruženja

Evolucione izmene mogu pokrenuti i velike i male promene u fizičkom okruženju. Ali čak i bez takvih promena, kulturni selekcioni pritisci koji su delovali u okviru naše vrste, imali su velikog efekta na našu evoluciju, i imaće ih i dalje. Ove pritiske moramo postaviti u kontekst istorije hominida kako bismo ih razumeli. Dok to budemo činili, videćemo da je kulturna promena bila jaka sila vodilja u evoluciji čovečanstva, a uticala je i na mnoge druge vrste s kojima smo povezani.

Pre oko 6 miliona godina u Africi, naša evolucionra loza odvojila se od loze koja je vodila do šimpanzi i bonobo majmuna. Nedavno otkriće zuba šimpanze u Keniji, starih pola miliona godina (McBrearty i Jablonski, 2005), pokazuje da je loza šimpanzi najveći deo tog vremena ostala jasno različita od naše loze, iako je proces razdvajanja genskog fonda mogao biti vrlo komplikovan (Patterson et al., 2006). Ima puno dokaza da su naši udaljeni preci morfološki bili bliži šimpanzama i bonobo majmunima nego nama. Rani hominid *Ardipitekus ramidus* (*Ardipithecus ramidus*), koji je živeo u istočnoj Africi pre 4,4 miliona godina, imao je skeletalne osobine i veličinu mozga nalik onima kod šimpanzi (White et al., 1994). Njegov skelet se od šimpanzi razlikovao samo po dva ključna aspekta: nešto izraženiji prednji položaj foramen magnuma, otvora pri dnu lobanje kroz koji prolazi kišmeni stub, i kutnjaci s ravnim krunicama nalik savremenim ljudima, za razliku od dobro zašiljenih kutnjaka šimpanzi. Ako bismo uspeli da oživimo Ardipitekusa ramidusa, on bi nama verovatno mnogo ličio na šimpanzu – mada nema sumnje da se *Ardipitekus ramidus* i današnje šimpanze ne bi međusobno prepoznali kao pripadnici iste vrste.

Evolucione promene u liniji hominida uključuju postepen prelaz u smeru uspravnog držanja. Promene zahtevaju brojne koordinisane izmene svih delova skeleta, a naročito u predelu lobanje i karlice. Možda je najupadljivija osobina ovog kretanja ka uspravnom držanju upravo njegova postepenost. Promena u držanju može se pratiti preko postepenog prednjeg pomeranja foramen magnuma lobanje, koje se može opaziti od najstarijih fosila hominida do onih najnovijih.

Druga morfološka promena od velikog je interesa. Mozak hominida pretrpeo je značajnu promenu veličine, čiji je rezultat da su mozgovi savremenih ljudi više nego tri puta veći od mozga šimpanze. Najveći deo ovog rasta desio se tokom poslednjih 2,5 miliona godina naše istorije. Uvećanja su se desila ne samo u našoj lozi, već i u bar još jednoj izumrloj lozi koja se odvojila od naše pre oko milion godina – u evropskoj i bliskoistočnoj lozi koje su obuhvatale pre-neandertalce i neandertalce. Ipak, vredi istaći da je ovaj opšti evolucijski „trend“ možda imao i kontraprimere, konkretno u očiglednom umanjenju i mozga i tela u lozi *Homo floresiensis*. Izvanredne sposobnosti hobita učinile su izvesnim da veličina mozga nije jedini odredilac uspeha hominida.

Naša sposobnost da manipulišemo predmetima i time menjamo sopstveno okruženje, takođe je pretrpela promene tokom istog perioda. Brojne promene strukture ruku hominida, kao što je to bio slučaj i sa povećanjem mozga od pre najmanje 2,5 miliona godina, učinile su ih fleksibilnim i osetljivim. I naša sposobnost da komuniciramo isto tako ima dugu evolucionu istoriju, koja se odražava kroz i fizičke, i kroz karakteristike u ponašanju. Neandertalci su imali glasovni aparat identičan našem, što ukazuje da su imali sposobnost govora (Arensburg et al., 1989). Sposobnost ljudske dece da brzo nauče složeni jezik (i njihov entuzijazam da to učine) ima samo ograničene odgovarajuće primere kod drugih primata. Mada su neke šimpanze, bonobo majmuni i gorile iskazali izvanredno razumevanje ljudskog govornog jezika, njihova sposobnost da proizvedu jezik i da njemu nauče druge, ozbiljno je ograničena (Tagliatela et al., 2003).

Mnogo promene u lozi hominida dogodile su se početkom tekuće serije glaciacija, pre 2,5 miliona godina. Tokom ovog perioda, širom sveta desilo se ubrzano povećavanje broja izumiranja životinjskih i biljnih vrsta. Tu su uključena izumiranja i u našoj lozi, kao što su bila ona *Homo habilis*, *Homo erectus*, *Homo ergaster*, a vremenski bliže nama Nenadertalaca i *Homo floresiensis*. Ta izumiranja bila su praćena brzom stopom evolucije u našoj lozi.

Koji su to kulturni pritisci doprineli ovoj brzoj evoluciji? I na drugim mestima sam tvrdio (Wills, 1993) da je povratna sprega, koja uključuje naše mozgove, tela, gene i naše brzo izmenljivo kulturno okruženje, dala važan doprinos u morfološkim promenama i promenama ponašanja. Povratne sprege su česte u evoluciji i vodile su mnogim ekstremnim rezultatima polne selekcije kod životinja i među biljkama cvetnicama u kontaktu s oprasivačima. Povratna sprega s „odbeglim mozgom“ može da objasni zašto su se brze promene dogodile u lozi hominida.

Čitavi genomi čoveka i šimpanze danas su dostupni za poređenje, otvarajući time fascinantne novi svet mogućnosti za naučna istraživanja (Consortium, 2005). Opšte poređenje sekvenci pokazuje da nas od šimpanzi deli nekih 10 miliona genetičkih promena. Tek smo počeli da shvatamo koje su od ovih promena igrale najznačajniju ulogu u našoj evoluciji. Međutim, čak i u ovako ranim fazama opsežnog istraživanja genoma, mi možemo izmeriti relativnu stopu promena različitih klasa gena, onako kako su se one odvajale na dve različite loze

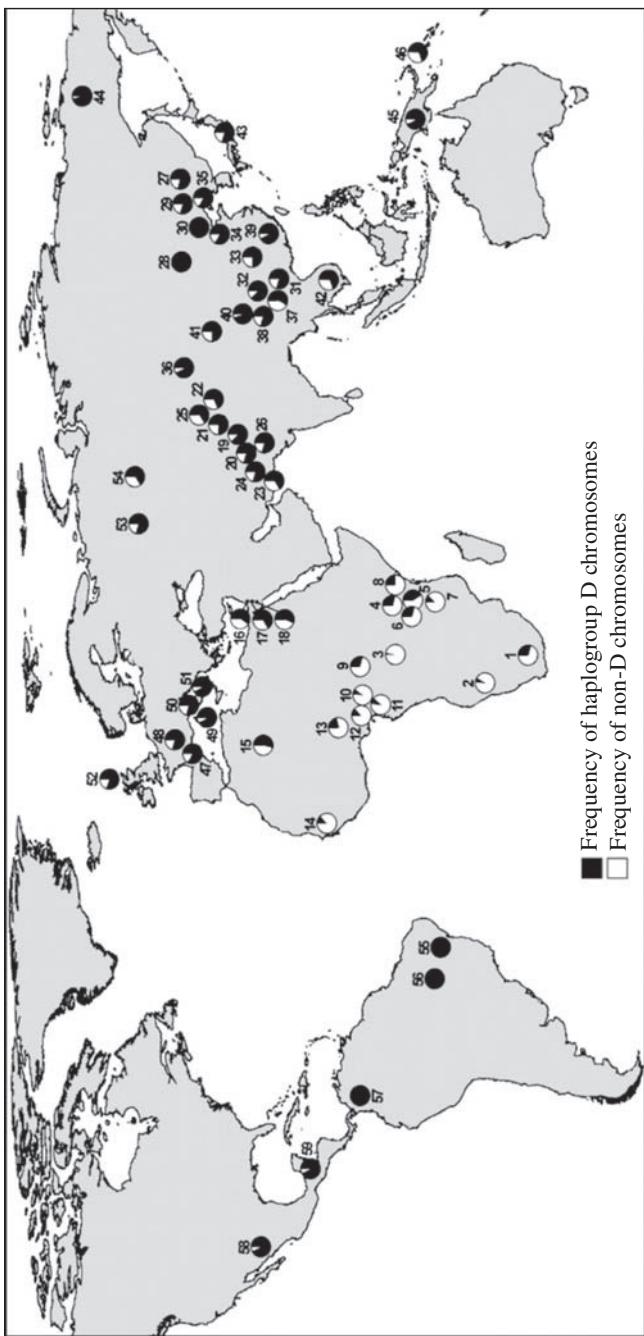
vodeći prema ljudima i šimpanzama. Sada je moguće ispitati evoluciju gena koji su uključeni u moždanu funkciju loze hominida i uporediti te promene sa evolucijom odgovarajućih gena kod drugih primata.

Prva takva međugenomska poređenja učinjena su između gena za koje je poznato da su bili uključeni u rast mozga i metabolizam, i gena koji utiču na razvoj i metaboličke procese u drugim telesnim tkivima. Izdvojila su se dva tipa informacija koji pokazuju brzu evoluciju loze hominida.

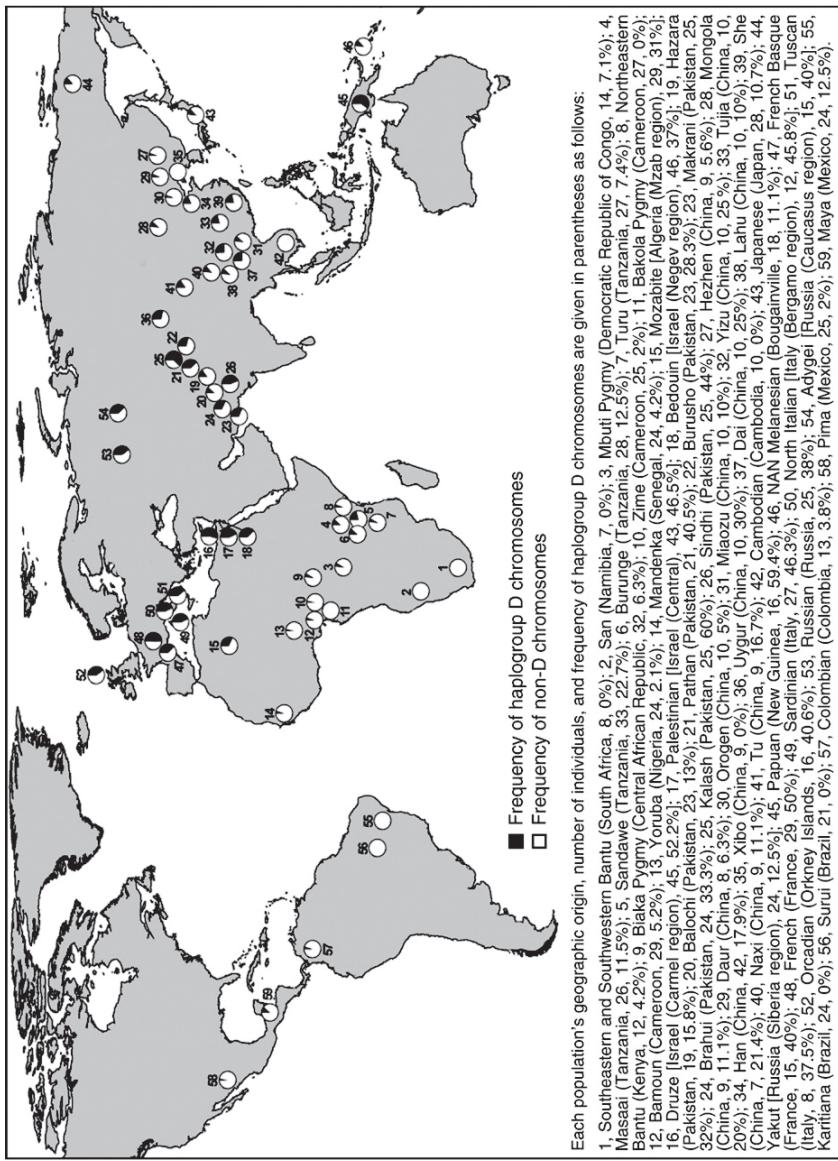
Prvo, geni koji su izraženi u moždanom tkivu pretrpeli su veću regulatornu promenu u ljudskoj lozi nego kod drugih primata. Regulacija gena određuje hoće li i kada određeni gen biti izražen kroz određeno tkivo. Takva regulacija, koja može da uključuje mnogo različitih interakcija između regulatornih proteina i lanaca DNK, ima jak uticaj na to kako se razvijamo od embriona do odrasle osobe. Kako počinjemo da poimamo neke od ovih regulatornih mehanizama, postaje jasno da su oni igrali ključnu ulogu u mnogim evolucionim promenama, uključujući tu velike promene u morfologiji i ponašanju. Stopu evolucije ovih regulatornih promena možemo ispitati upoređujući načine na koje su članovi ovih klasa gena izraženi kroz naše mozgove i one naših srodnika (Enard et al., 2002). Često se izdvaja jedan obrazac, po kome dati gen može biti izražen na istom nivou (recimo visokom ili niskom) kod šimpanza i rezus majmuna, ali na različitom nivou (recimo srednjem) kod ljudi. Brojni geni pokazuju različite obrasce, ukazujući da je njihova regulacija pretrpela značajno više promena u našoj lozi nego kod drugih primata. Za razliku od gena koji utiču na moždanu funkciju, u lozi hominida regulatorne promene nisu se prioritetno dešavale u genima izraženim kroz krv i jetru.

Drugo, geni umešani u moždanu funkciju pretrpeli su mnogo dublje promene u ljudskoj lozi nego u drugim lozama. Geni koji kodiraju proteine prošli su dve vrste promena: nesinonimske promene koje menjaju proteine kodirane genima koji verovatno menjaju njihovu funkciju, i sinonimske promene koje menjaju gene, ali nemaju efekta na proteine. Kad se geni uključeni u moždane funkcije uporede među različitim lozama sisara, onda se vidi da se značajno veći broj potencijalno funkcionalnih promena desio u lozama hominida nego u drugim lozama (Clark et al., 2003). Ovaj nalaz jasno pokazuje da je jaka prirodna selekcija u lozi hominida izmenila gene umešane u moždane funkcije mnogo brže nego što su se promene dešavale u drugim lozama.

Određene promene u genima uključenim u moždane funkcije sada se mogu pratiti do detalja. Nagomilavaju se dokazi o tome da je šest mikrocefalinskih gena uključeno u obilno razmnožavanje neuroblastova (matičnih ćelija iz kojih mogu nastati različite vrste nervnih ćelija poput neurona, glijalnih ćelija itd.) u toku rane faze razvoja mozga. Otkriveno je da jedan od ovih gena, *MCPH1*, nosi specifičan haplotip s visokom učestalošću u ljudskom populaciji (Evans et al., 2005), a da je najvišu učestalost dostigao u Aziji (slika 3.1). Haplotip je pretrpeo izvesne dalje mutacije i rekombinacije pošto se prvi put pojavio pre oko 37.000 godina, a one pokazuju jaku neravnotežu u povezivanju. Drugi aleli na ovom lokusu ne pokazuju takav obrazac neravnoteže. Pošto neravnoteža



Slika 3.1 Globalno rasprostiranje mikrocefalne haplogrupe D hromozoma (određenih kao nosilaca izvedenih C alela na G37995C dijagnostičkom SNP) na uzorku od 1184 osobe.



Slika 3.2 Svetska rasprostranjenost ASPM haplogrupe D hromozoma (određenih kao nosilaca izvedenih G alela na A44871G dijagnostičkom polimorfizmu), zasnovana na uzorku od 1186 osoba.

vremenom iščezava, jasno je da se ovaj haplotip raširio kao rezultat jake prirodne selekcije.

Još jedan gen takođe povezan s mikrocefalijom, abnormalni vretenasti (ASPM – *abnormal spindle-like microcephaly-associated*) pruža još svežije dokaze o izuzetnoj jakoj selekciji (Mekel-Bobrov et al., 2005). Jedan alel nađen uglavnom u Evropi i Bliskom istoku, ali mnogo ređe u Aziji (slika 3.2), izgleda da se pojavio pre svega oko 5800 godina. Širenje ovog alela bilo je tako brzo da je morao preneti selekcionu prednost od nekoliko procenata na svoje nosioce.

Mada oba ova alela nose nesinonimske bazne promene, razlike u alelima koje su prošle selekciju ne moraju biti te promene, već one mogu biti u povezanim regulatornim oblastima. Dalje, nije dokazan direktni efekat ovih alela na moždanu funkciju. Bez obzira na to, geografski obrasci viđeni kod ovih alela ukazuju da prirodna selekcija nastavlja moćno da deluje u našoj vrsti.

3.4 Tekuća evolucija čoveka

Svi ovi deliči dokaza iz naše istorije pokazuju da su ljudi zadržali sposobnost ubrzanog evoluiranja. Ali nastavljamo li mi da evoluiramo i danas? Gotovo izvesno. Mada se evolucijski pritisci koji deluju na nas često razlikuju od onih koji su delovali na naše pretke pre milion, ili pre 10.000 godina, mi smo i dalje izloženi mnogim istim pritiscima. Selekcija prema otpornosti na zarazne bolesti se nastavlja. Mi smo, bar privremeno, pobedili mnoge ljudske bolesti, ali mnoge druge – kao što su tuberkuloza, SIDA, malarija, grip i mnoge crevne bolesti – nastavljaju s masovnim ubijanjem (videti i poglavlje 14). Selekcija na otpornost ka ovim bolestima je trajan proces zato što i organizmi koji ih izazivaju takođe evoluiraju.

3.4.1 Evolucija ponašanja

Mada je teško izmeriti efekte selekcije na psihološke pritiske, i oni moraju imati određenu ulogu. Majkl Marmot (*Michael Marmot*) dokazao je s kolegama, da položaj osobe u radnoj hijerarhiji ima uticaja na njeno zdravlje (Singh-Manoux et al., 2005). Pripadnici najvišeg nivoa hijerarhije žive zdravije od onih na najnižem nivou – pa čak i od onih koji zauzimaju položaje tek nešto ispod najvišeg!

Psihološki pritisci takođe utiču na reprodukciju. Uvođenje efikasnih sredstava kontrole rađanja obezbedilo je lični izbor u reprodukciji za veći broj ljudi nego ikada ranije. Možemo samo da nagadamo kakav će efekat selekcija gena koji utiču na odlučivanje o reprodukciji, imati na našu buduću evoluciju. Međutim, postoje neki dokazi iz studija sa jednojajčanim blizancima, da je naslednost reproduktivnih osobina znatna, naročito po pitanju doba prve reprodukcije (Kirk et al., 2001). Tako će brze promene stopa rasta populacije, kakve su bile zabeležene u Evropi i bivšem Sovjetskom Savezu, verovatno imati evolucione posledice.

Popustila je zabrinutost nad disgenskim pritiscima na ljudsku populaciju, koji proističu iz nagomilavanja štetnih gena (Muller, 1950). Sada je jasno da će se, čak i u odsustvu selekcije, štetni mutirani aleli vrlo sporo akumulirati u našem genskom fondu, i da mnoge ljudske osobine imaju kompleksnu genetičku komponentu, tako da je nemoguće predvideti efekte selekcije na njih. Aleli koji su očigledno štetni – srpaste čelije, Taj-Saks, mišićna distrofija i druge – biće uskoro podložne zameni funkcionalnim alelima preko precizne genske hirurgije izvedene na predačkim čelijama. Takva hirurgija, mada će biti od velike koristi pojedincima, verovatno neće imati veliki uticaj na naš ogromni genski fond, osim ako ne postane izuzetno jeftina.

Jedan zanimljiv smer u tekućoj i budućoj ljudskoj evoluciji, koji je privukao malo ili nimalo pažnje, jeste selekcija prema intelektualnoj raznovrsnosti. Merenje ljudskih intelektualnih sposobnosti i sposobnosti njihovog nasleđivanja još je u primitivnoj fazi. Mnogo pažnje posvećeno je sposobnosti nasleđivanja koeficijenta inteligencije (IQ), ali nedavna meta-analiza procenjuje široku sposobnost nasleđivanja IQ-a na 0,5, a usku sposobnost nasleđivanja (komponenta kojom se meri selektabilna fenotipska varijacija) na svega 0,34 (Devlin et al., 1997). Ali IQ je samo jedan vid ljudske inteligencije, a treba istražiti i druge aspekte inteligencije. Danijel Golmen predložio je da je socijalna inteligencija, sposobnost interakcije s drugima, bar toliko važna koliko i IQ (Goleman, 1995), dok je Hauard Gardner istraživao višestruke inteligencije u rasponu od umetničke i muzičke preko političke do mehaničke (Gardner, 1993). Svako od nas poseduje različitu mešavinu ovih inteligencija. Do one mere u kojoj im geni doprinose, ti geni verovatno su polimorfni – to jest, poseduju brojne alele, svaki na priličnoj učestalosti u ljudskoj populaciji.

Ova prepostavka o polimorfnim genima uključenim u ponašanje vodi nas do dva predviđanja. Prvo, lokusi koji utiču na moždane funkcije ljudi treba da imaju više alela od istih lokusa kod šimpanzi. Međutim, većina funkcionalnih polimorfnih razlika verovatno neće biti nadena u strukturalnim genima, već u regulatornim oblastima koje utiču na način kako se ti geni izražavaju. Zbog teškoća u lociranju funkcionalnih polimorfizama verovatno će proći još izvesno vreme dok ovo predviđanje bude testirano.

Drugo predviđanje kaže da izvestan tip uravnotežene selekcije, verovatno s komponentom zavisnom od učestalosti, nekako održava ove alele u ljudskoj populaciji.

Kada alel ima prednost dok je redak a gubi prednost kada nije, postojaće tendencija da se održi u učestalosti pri kojoj nije ni prednost ni mana. Ako pretpostavimo da aleli koji utiču na mnoga ponašanja ili veštine u ljudskoj populaciji obezbeduju prednost dok su retki, ali gube prednost kada nisu, postojaće tendencija da populacija akumulira te alele na osrednjoj učestalosti.

U populaciji su pronađeni brojni primeri uravnotežene selekcije, zavisne od učestalosti. Jedan koji utiče na ponašanja pronađen je kod *Drosophila melanogaster*. Prirodna populacija ove muve je polimorfna za dva alela u lokusu (lokus

for označava tragača za hranom), koji kodiraju protein kinazu. Recesivni alel na ovom lokusu, *sedelac*, uslovjava larvu da se hrani s jednog mesta. Dominantni alel, *latalica*, uslovjava nosioce da se kreću dok se hrane. Ni jedan alel ne može da prevagne (postigne fiksaciju) u populaciji. *Latalica* ima prednost kad je hrane malo, jer larve *latalice* mogu naći više hrane i mogu rasti brže od larvi *sedelaca*. Ako su okružene obiljem, larve sedeoci, koje ne gube vreme i energiju na kretanje, mogu da sazru brže nego latalice (Sokolowski et al., 1997).

Biće fascinantno sagledati jesu li ponašanjem uslovljeni polimorfizmi, kao ovi na *for* lokusu, uobičajeni u ljudskoj populaciji. Ako je tako, jedan tip evolucijske promene može biti dodavanje novih alela na te lokuse, kako naša kultura i tehnologija budu postajale sve složenije, i kako se budu javljale mogućnosti za nove vrste ponašanja. Zapanjujuće je kako rašireni MCPH1 alel nije dostigao fiksaciju ni u jednoj ljudskoj populaciji, iako je prolazio pozitivnu selekciju još pre nego što je moderni čovek naselio Evropu. Može biti da ovaj alel daje prednost dok je redak, ali gubi prednost kad postane raširen. Još uvek se ništa ne zna o tome ima li kakvih efekata ovog alela na ponašanje, ali uskoro će biti testirana pretpostavka o tome da ih ima.

3.4.2 Budućnost genetičkog inženjeringu

Ima mnogo spekulacija o efektima genetičkog inženjeringu na budućnost naše vrste, uključujući i mogućnost pojave „genetičke elite“ koja bi imala koristi od takvog inženjeringu, uz isključenje drugih grupa ljudi (e.g., Silver, 1998). Ovom stanovištu mogu se suprotstaviti dva jaka kontraargumenta.

Prvo, broj gena koji se u našoj vrsti mogu menjati je ogroman. Ako pretpostavimo da ima 50.000 gena po diploidnom ljudskom genomu i 6 milijardi individua, broj gena u našem genskom fondu iznosi 3×10^{14} . Zadatak izmene čak i delića broja tih gena bio bi enorman, naročito pošto bi svaka takva promena mogla da vodi opasnim i neočekivanim nuspojavama. Mnogo je verovatnije da će nam rastuće poznavanje funkcije gena omogućiti da stvorimo određene lekove i druga jedinjenja koja mogu proizvesti poželjne promene u našim fenotipovima, i da će te promene biti dovoljno jednostavne i jeftine tako da ne ostanu vezane za genetičku elitu (Wills, 1998). Čak i takve blaže fenotipske manipulacije pune su opasnosti, kao što smo to već vidali kroz negativne efekte tretmana steroidima i hormonom rasta na sportistima.

Drugo, mogućnost da se uspostavi „genetička elita“ deluje malo verovatno. Ranije pomenuta skromna uska (selektabilna) sposobnost nasleđivanja IQ-a pokazuje teškoću uspostavljanja genetičke elite selekcijom. Još niže sposobnosti nasleđivanja verovatno će biti pravilo i za druge fizičke osobine ili karakteristike ponašanja koje danas smatramo poželjnim.

Pokušaji da se uspostave grupe klonova ljudi s navodno željenim osobinama, takođe bi imali neočekivane i nepredvidljive rezultate, u ovom slučaju zbog okruženja. Klonovi Bila Gejsa ili majke Tereze, koji odrastaju u različito vreme

i na različitom mestu, izrasli bi u ljude koji odražavaju uticaje svog jedinstvenog podizanja, baš onako kako su to činili i originalni tih hipotetičkih klonova. I srećom, uticaj okruženja može suzbiti opake disgenske aranžmane, kao i one eugenske, utopijske. Uprkos „Dečacima iz Brazila“, izgledno je da bi klonovi Adolfa Hitlera, usvojeni u dobro prilagođene porodice u zdravom društvu izrasli u dobro prilagođene mlade ljude.

3.4.3 Evolucija drugih vrsta, uključujući i one od kojih zavisimo

Rasprave o ljudskoj evoluciji imale su tendenciju zanemarivanja činjenice da smo veoma mnogo uticali na evoluciju drugih vrsta, životinja i biljaka. Ove vrste su zauzvrat uticale na našu evoluciju. Obilje žitarica koje je omogućilo poljoprivrednu revoluciju, stvorile su neopevane generacije primitivnih poljoprivrednika koji su izveli dugoročni proces veštačke selekcije. Neki rezultati ovakve, izuzetno efikasne selekcije, vide se na indijanskom kukuruzu, koji je gotovo neprepoznatljiv potomak divlje trave teosinta i pitome pšenice, koja je opet aloheksaploid s genetičkim doprinosom od tri različite vrste divljih trava. Današnja ogromna ljudska populacija apsolutno zavisi od ovih biljaka, a takođe i od drugih biljaka i životinja koje su nastale kao proizvod hiljada generacija veštačke selekcije.

Jedna od posledica klimatske promene kao što je globalno otopljenje, jeste ta da će poljoprivreda u budućnosti morati da pretrpi brze adaptacije (poglavlje 13). Južnjačka kukuruzna lisna vaš, gljiva koja je žestoko oštetila proizvodnju kukuruza na jugoistoku Sjedinjenih Država tokom sedamdesetih godina, stavljena je pod kontrolu uvođenjem otpornih sojeva, ali tek posle velikih gubitaka. Ako klima postane toplija, slične epidemije vaši i drugih bolesti koje preovlađuju u tropskim i subtropskim regionima postaće rastuća pretnja velikim svetskim poljoprivrednim površinama umerenog regiona.

Naša sposobnost da stvorimo nove sojeve i životinske i biljne varijetete otporne na bolesti, sušu i druge verovatne efekte promene klime, zavisi od utvrđivanja i održavanja zaliha divljih vrsta od kojih su oni potekli. Takve zalihe teško je održati u dužem periodu, jer vlade i agencije koje obezbeđuju sredstva znaju da izgube interesovanje, i zato što socijalni nemiri mogu ponekad da ih unište. Neke zalihe divljih vrsta srodnih pitomim usevima koje je sakupio ruski genetičar Nikolaj Vavilov početkom dvadesetog veka su izgubljene, a sa njima i nepoznat broj gena od potencijalno velike važnosti. Možda bi bilo moguće izbeći takve gubitke ubuduće stvaranjem višestrukih banaka semena i banaka gena, kako bi se očuvali primerci genetičke raznolikosti na planeti. Norveška vlada nedavno je najavila planove da na arktičkom ostrvu Svalbardu izgradi bunker namenjen da čuva oko dva miliona primeraka semena, predstavnike svih svetski poznatih varijeteta useva. Nažalost, nema planova da se napravi kopija jednog ovakvog skladišnog centra negde drugde.

Tehnologija nam može pomoći da se prilagodimo promenama okruženja pod uslovom da naše tehnološke sposobnosti ostanu netaknute tokom budućih

perioda brzih promena okruženja. Navedimo jedan takav primer, gde je transgenski soj paradajza sposobnog da skladišti suvišnu so u listovima dok plod ostaje relativno sloboden od nje, proizведен prenaglašavanjem transportnog gena *Arabidopsis*. Biljke otporne na so mogu rasti pri 50 puta višim nivoima soli od onih u normalnoj zemlji (Zhang i Blumwald, 2001). Mogućnost da se proizvede usev biljaka sposobnih da rastu pod ekstremnim uslovima u okruženju može nam obezbediti ishranu populacije, čak i ako budemo suočeni sa smanjenim površinama obradive zemlje.

3.5 Budući evolucioni smerovi

Čak ni velika globalna katastrofa, kao što je udar asteroida/komete prečnika 10 km, ne bi značio kraj naše vrste ako bismo uspeli da se proširimo na druge sunčeve sisteme pre nego što do udara dođe. Međutim, možemo postaviti brojne scenarije, sem istrebljenja, koji mogu testirati našu sposobnost da preživimo kao vrsta. Neću ovde navoditi scenarije koje uključuju inteligentne mašine ili još radikalnije oblike tehnologijom omogućene ljudske transformacije. (videti Bostrom, 2004).

3.5.1 Drastične i brze klimatske promene bez promena ljudskog ponašanja

Ako klimatske promene budu žestoke, bilo zbog sporih (npr. antropogenih) ili iznenadnih (npr. supervulkanskih) uzroka, pa broj preživelih bude mali, možda neće biti vremena za prilagođavanje. Živopisan je primer staronordijskih kolonista Grenlanda iz ranog srednjeg veka, koji su pomrli kad se klima izmenila jer nisu mogli da preorientišu ishranu sa mesa na ribu (Berglund, 1986). Džered Dajamond (Jared Diamond, 2005) zastupao je u nedavnoj knjizi tezu kako su klimatske promene bile važan faktor u nekoliko slučajeva društvenog kolapsa tokom ljudske istorije.

3.5.2 Drastične ali sporije promene okruženja praćene promenama u ljudskom ponašanju

Ako se promena okruženja desi tokom generacija, umesto tokom nekoliko godina ili decenija, možda ćemo imati dovoljno vremena da namerno izmenimo naša ponašanja. Ove promene ponašanja neće biti evolucione promene, bar u početku, mada ćemo zapravo videti da sposobnost za takve promene zavisi od naše evolucione i kulturne istorije. One će se pre sastojati u memima (Dawkins, 1976), ne-genetički naučenim ili imitiranim ponašanjima koje čine suštinski deo ljudskih društava i tehnologije. Promena koja će imati najveći trenutni efekat biće kontrola populacije, dobrovoljnim ili nametnutim sredstvima, ili korišćenjem

obe vrste. Takve promene već imaju efekta. Politika jednog deteta koju sprovodi kineska vlada, ma koliko bila nesavršena u praksi, ubrzala je demografsku tranziciju te države i pomogla da se prihod po glavi stanovnika za poslednjih četvrt veka poveća 20 puta.

Takve demografske tranzicije odbijaju se sve brže u mnogim delovima sveta, čak i u odsustvu vladinih podsticaja. Ujedinjene Nacije su 1960. predviđale da će populacija planete do 2050. godine dostići 12 milijardi ljudi. Ove zastrašujuće projekcije predvidele su da će naša populacija nastaviti da sve brže raste čak i posle 2050. Te procene su sada zamenjene manje ekstremnim predviđanjima čiji je prosek devet milijardi do 2050, a neke od tih revidiranih projekcija zapravo predviđaju lagano opadanje svetske populacije u drugoj polovini veka. Demografske tranzicije u podsaharskoj Africi i južnoj Aziji zaostajaće za ostatkom planete, ali nema razloga za sumnju da će i ovi regioni tokom veka napredovati kako bude nastavljeno širenje obrazovanja, naročito obrazovanja žena. Malo je verovatno da će tok demografskih tranzicija biti obrnut, bar dok obrazovanje nastavi sa širenjem. Nedavno mi se poglavica jednog malog sela na zabačenom ostrvu Rinka u Indoneziji, žalio kako sve šestoro njegove dece želi da ide u medicinsku školu, a on ne može ni da zamisli da ih sve pošalje.

Demografske tranzicije pratiće tehnološke promene u načinu ishrane stanovništva planete. Ako porast nivoa okeana izazove ogroman gubitak površina obradive zemlje (uključujući tu velike delove čitavih država, kao što je Bangladeš), biće neophodno obezbediti hranu i smeštaj za čitave horde izbeglica. Nekakvu nadu pružaju tehnologija i promena u navikama ishrane. Sojin protein sličan je po sadržaju aminokiselina životinjskim proteinima, a proizvodnja soje porasla je 400% za poslednjih 30 godina. Ovaj usev već počinje da menja naše navike u ishrani. Nova poljoprivredna infrastruktura, kao što je intenzivna hidropnična poljoprivreda koja se sprovodi ispod ogromnih prozirnih geodezijskih kupola sa opremom za recikliranje vode, brzo će biti usvajana ako alternativa bude gladovanje.

Malo se može učiniti na sučeljavanju s problemima bez niza katastrofalnih dogadaja koji će čak i najreakcionarnijim društвima i vladama, učiniti jasnim da je drastična promena neophodna. Te katastrofe već počinju da crtaju oštrim obrisima da tekuća društvena ponašanja nisu adekvatna budućim izazovima, kao što su neproporcionalna upotreba ograničenih svetskih resursa od strane određenih država i restrikcije nad slobodnim tokom informacija koje čine diktatorske vlade. Društveni modeli zasnovani na nacionalnom interesu ili na očuvanju moći manjine, pokazaće se neadekvatnim pred brzim i dramatičnim promenama okruženja. Ja ћu predvideti da će – uprkos širokom otporu prema ideji – globalna vladajuća organizacija s nadnacionalnim moćima, ekvivalentna Evropskoj uniji na globalnom nivou, neizbežno morati da se pojavi. Kako se budemo suošavali s ponovljenim katastrofama, videćemo kako se u ekonomskoj sferi odvija jaka selekcija protiv individualnog i društvenog ponašanja koje se ne može tolerisati u svetu nemaštine.

Ma koliko nekima bila neugodna ovakva predviđanja, ubrzana stopa promena okruženja učiniće ih neizbežnim. Ako želimo da zadržimo značajnu ljudsku populaciju dok se planeta menja, mora se menjati i naše ponašanje. U suprotnom, rezultat naših društvenih razmirica može biti dugoročna ekološka šteta koja se može popraviti tek posle desetina ili stotina, ili hiljada godina.

Možete oko ponašanja u budućnosti vikati, svadati se i optimati koliko hoćete, ali naša protekla evoluciona istorija većini je dala mogućnost promene ponašanja. To je naša izvanredna snaga, kao vrste.

3.5.3 Kolonizacija novih okruženja našom vrstom

Treći futuristički scenario, onaj o kolonizaciji drugih planeta, sve brže se kreće iz domena naučne fantastike ka realnoj mogućnosti. U poslednjoj deceniji otkriveno je više od stotinu planeta van Sunčevog sistema. Sve su veličine Jupitera ili veće, ali izvesno se može predvideti da će tokom godina ili decenija biti pronađene planete veličine Zemlje, a na nekima od njih biće dokaza o postojanju života. Najmanja nedavno otkrivena ekstrasolarna planeta, samo oko pet puta masivnija od Zemlje, leži u nastanjivoj zoni sistema Gliese 581 i verovatno sadrži vodu na površini (Beaulieu et al., 2006). Iz ugla selekcionih efekata primenljivih na dosadašnja istraživanja, neizbežna su otkrića još manjih planeta.

Ovo predviđanje u neskladu je s tezom koju su izneli Ward i Braunli (Ward i Brownlee, 2000), da su planete koje sadrže složen život izvanredno retke u našoj galaksiji. Međutim, ta teza zasnovana je na pristasnoj interpretaciji raspoloživih podataka i najrestriktivnijem pogledu na način kako se obrazuju planetarni sistemi (Kasting, 2001).

Ne može se zamisliti uzbudljivi trenutak jednog naučnog otkrića od onog kada prvi put dobijemo sliku ili spektar planete veličine Zemlje, sa atmosferom bogatom kiseonikom, koja kruži oko obližnje zvezde (što će uskoro biti moguće nastupom „Darvina“, „Keplera“, „Gaie“ i nekoliko drugih misija u nekoliko sledećih godina, koje tragaju za planetama sličnim Zemlji). Verovatno je da mi kao vrsta, nećemo moći da odolimo izazovu posete, a možda i kolonizacije tih planeta.

Kolonizacija drugih planeta daće kao rezultat eksplozivno darvinovsko adaptivno širenje, koja će uključivati i nas kao vrstu, i životinje i biljke koje nas budu pratile. Baš kao što su se sisari proširili u nove ekološke prostore posle izumiranja dinosaurusa, a zebe i kopnene kornjače, na koje je Darwin naišao na Galapagoskim ostrvima, adaptivno proširile na druga ostrva, i mi ćemo se na različite načine adaptirati na planete koje istražujemo i kolonizujemo.

Nova planetarna okruženja biće istinski različita. Kako ćemo moći da kolonizujemo nove planete nastanjene starosedelačkim životnim oblicima koji imaju različitu biohemiju i mehanizme nasleđivanja? Možemo li mi i životinje i biljke koje budemo poneli sa sobom, živeti zajedno sa ovim starosedelačkim i visoko adaptiranim oblicima života? Možemo li to učiniti bez oštećenja ekologije planeta

koje ćemo zaposesti? I kako će konkurenčija s tim životnim oblicima izmeniti nas? Hoćemo li biti sposobni da usmerimo i ubrzamo te promene na nama, namerno menjajući gene te male populacije kolonista?

Ako budemo mogli da se prilagodimo novim okruženjima 10.000 ili 100.000 godina u budućnosti, naša vrsta će se proširiti na tako širok prostor da nikakva pojedinačna katastrofa okruženja ne bi mogla da nas sve zbiši. Ali naše produženo opstojanje i dalje bi bilo puno opasnosti. Hoćemo li kolektivno i dalje moći da prepoznamo jedni druge kao ljudе? Kakve nas nove i nepotrebne predrasude mogu podeliti, i kakvi će novi nesporazumi voditi do besmislenih sukoba?

Preporuke za dalje čitanje

- Kareiva, P., Watts, S., McDonald, R., and Boucher, T. (2007). Domesticated nature: shaping landscapes and ecosystems for human welfare. *Science*, **316**, 1866–1869. U ovom radu istražuje se mogućnost da ćemo trajno promeniti svetske ekosisteme u našu korist.
- Myers, N. and Knoll, A.H. (2001). The biotic crisis and the future of evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, **98**, 5389–5392. Neprijatna predviđanja o toku buduće evolucije mogu se naći u ovom radu.
- Palumbi, S.R. (2001). Humans as the world's greatest evolutionary force. *Science*, **293**, 1786–1790. Istražuje se uticaj ljudi na evoluciju drugih organizama.
- Nažalost, nijedan od ovih autora ne bavi se posledicama promena u evolucionim pritiscima na našu vrstu.

Referentna literatura

- Agrawal, A., Eastman, Q.M., and Schatz, D.G. (1998). Implications of transposition mediated by V(D) J-recombination proteins RAG1 and RAG2 for origins of antigen-specific immunity. *Nature*, **394**, 744–751.
- Alroy, J., Marshall, C.R., Bambach, R.K., Beususko, K., Foote, M., Fursich, F.T., Hansen, T.A., Holland, S.M., Ivany, L.C., Jablonski, D., Jacobs, D.K., Jones, D.C., Kosnik, M.A., Lidgard, S., Low, S., Miller, A.I., Novack-Gottshall, P.M., Olszewski, T.D., Patzkowsky, M.E., Raup, D.M., Roy, K., Sepkoski, J.J., Jr., Ommer, M.G., Wagner, P.J., and Webber, A. (2001). Effects of sampling standardization on estimates of Phanerozoic marine diversification. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, **98**, 6261–6266.
- Arensburg, B., Tillier, A.M., Vandermeersch, B., Dудay, H., Schepartz, L.A., and Rak, Y. (1989). A Middle Paleolithic hyoid bone. *Nature*, **338**, 758–760.
- Barnosky, A.D., Bell, C.J., Emslie, S.D., Goodwin, H.T., Mead, J.I., Repenning, C.A., Scott, E., and Shabel, A.B. (2004). Exceptional record of mid-Pleistocene vertebrates helps differentiate climatic from anthropogenic ecosystem perturbations. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, **101**, 9297–9302.
- Beaulieu, J.-P., Bennett, D.P., Fouque, P., Williams, A., and et al. (2006). Discovery of a cool planet of 5.5 Earth masses through gravitational microlensing. *Nature*, **439**, 437.

- Beerling, D.J., Lomax, B.H., Royer, D.L., Upchurch, G.R., Jr, and Kump, L.R. (2002). An atmospheric pCO₂ reconstruction across the Cretaceous–Tertiary boundary from leaf megafossils. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, **99**, 7836–7840.
- Berglund, J. (1986). The decline of the Norse settlements in Greenland. *Arc. Anthropol.*, **23**, 109–136.
- Brown, P., Sutikna, T., Morwood, M.J., Soejono, R.P., Jatmiko, Saptomo, E.W., and Due, R.A. (2004). A new small-bodied hominin from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia. *Nature*, **431**, 1055–1061.
- Clark, A.G., Glanowski, S., Nielsen, R., Thomas, P.D., Kejariwal, A., Todd, M.A., Tanenbaum, D.M., Civello, D., Lu, F., Murphy, B., Ferriera, S., Wang, G., Zheng, X., White, T.J., Sninsky, J.J., Adams, M.D., and Cargill, M. (2003). Inferring nonneutral evolution from human–chimp–mouse orthologous gene trios. *Science*, **302**, 1960–1963.
- Consortium, T.C.S. (2005). Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome. *Nature*, **437**, 69–87.
- Cook, L.M., Soltis, P.M., Brunsfeld, S.J., and Soltis, D.E. (1998). Multiple independent formations of *Tragopogon* tetraploids (Asteraceae): evidence from RAPD markers. *Mol. Ecol.*, **7**, 1293–1302.
- Culotta, E. and Pennisi, E. (2005). Evolution in action. *Science*, **310**, 1878–1879.
- Dawkins, R. (1976). *Sebični gen* (Smederevo: Heliks, 2008).
- Dennell, R. and Roebroeks, W. (2005). An Asian perspective on early human dispersal from Africa. *Nature*, **438**, 1099–1104.
- Devlin, B., Daniels, M., and Roeder, K. (1997). The heritability of IQ. *Nature*, **388**, 468–471.
- Enard, W., Khaitovich, P., Klose, J., Zöllner, S., Heissig, F., Giavalisco, P., Nieselt-Struwe, K., Muchmore, E., Varki, A., Ravid, R., Doxiadis, G.M., Bontrop, R.E., and Pääbo, S. (2002). Intra-and interspecific variation in primate gene expression patterns. *Science*, **296**, 340–343.
- Evans, P.D., Gilbert, S.L., Mekel-Bobrov, N., Vallender, E.J., Anderson, J.R., Vaez-Azizi, L.M., Tishkoff, S.A., Hudson, R.R., and Lahn, B.T. (2005). Microcephalin, a gene regulating brain size, continues to evolve adaptively in humans. *Science*, **309**, 1717–1720.
- Flynn, J.J., Parrish, J.M., Rakotosamimanana, B., Simpson, W.F., Whatley, R.L., and Wyss, A.R. (1999). A Triassic fauna from Madagascar, including early dinosaurs. *Science*, **286**, 763–765.
- Gardner, H. (1993). *Multiple Intelligences: The Theory in Practice* (New York: Basic Books).
- Garrigan, D. and Hedrick, P.W. (2003). Perspective: detecting adaptive molecular polymorphism: lessons from the MHC. *Evolution*, **57**, 1707–1722.
- Goleman, D. (1995). *Emotional Intelligence* (New York: Bantam Books).
- Hu, Y., Meng, J., Wang, Y., and Li, C. (2005). Large Mesozoic mammals fed on young dinosaurs. *Nature*, **433**, 149–152.
- Ji, Q., Luo, Z.-X., Yuan, C.-X., and Tabrum, A.R. (2006). A swimming mammaliaform from the middle Jurassic and ecomorphological diversification of early mammals. *Science*, **311**, 1123–1127.
- Jones, J.S. (1991). Is evolution over? If we can be sure about anything, it's that humanity won't become superhuman. *New York Times*, p.E17.
- Kasting, J.F. (2001). Peter Ward and Donald Brownlee's 'Rare Earth'. *Persp. Biol. Med.*, **44**, 117–131.

- Kirk, K.M., Blomberg, S.P., Duffy, D.L., Heath, A.C., Owens, I.P.F., and Martin, N.G. (2001). Natural selection and quantitative genetics of life-history traits in Western women: a twin study. *Evolution*, **55**, 423–435.
- Lamason, R.L., Mohideen, M.-A.P.K., Mest, J.R., Wong, A.C., Norton, H.L., Aros, M.C., Juryneč, M.J., Mao, X., Humphreville, V.R., Humbert, J.E., Sinha, S., Moore, J.L., Jagadeeswaran, P., Zhao, W., Ning, G., Makalowska, I., McKeigue, P.M., O'Donnell, D., Kittles, R., Parra, J., Mangini, N.J., Grunwald, D.J., Shriver, M.D., Canfield, V.A., and Cheng, K.C. (2005). SLC24A5, a putative cation exchanger, affects pigmentation in zebrafish and humans. *Science*, **310**, 1782–1786.
- McBrearty, S. and Jablonski, N.G. (2005). First fossil chimpanzee. *Nature*, **437**, 105–108.
- Mekel-Bobrov, N., Gilbert, S.L., Evans, P.D., Vallender, E.J., Anderson, J.R., Hudson, R.R., Tishkoff, S.A., and Lahn, B.T. (2005). Ongoing adaptive evolution of ASPM, a brain size determinant in *Homo sapiens*. *Science*, **309**, 1720–1722.
- Muller, H.J. (1950). Our load of mutations. *Am. J. Human Genet.*, **2**, 111–176.
- Patterson, N., Richter, D.J., Gnerre, S., Lander, E.S., and Reich, D. (2006). Genetic evidence for complex speciation of humans and chimpanzees. *Nature*, **441**, 1103–1108.
- Silver, L. (1998). *Remaking Eden* (New York: Harper).
- Singh-Manoux, A., Marmot, M.G., and Adler, N.E. (2005). Does subjective social status predict health and change in health status better than objective status? *Psychosomatic Medicine*, **67**, 855–861.
- Sokolowski, M.B., Pereira, H.S., and Hughes, K. (1997). Evolution of foraging behavior in *Drosophila* by density-dependent selection. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, **94**, 7373–7377.
- Spira, A. and Multigner, L. (1998). Environmental factors and male infertility. *Human Reprod.*, **13**, 2041–2042.
- Stedman, H.H., Kozyak, B.W., Nelson, A., Thesier, D.M., Su, L.T., Low, D.W., Bridges, C.R., Shrager, J.B., Minugh-Purvis, N., and Mitchell, M.A. (2004). Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage. *Nature*, **428**, 415–418.
- Surovell, T., Wagstaff, N., and Brantingham, P.J. (2005). Global archaeological evidence for proboscidean overkill. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, **102**, 6231–6236.
- Tagliatela, J.P., Savage-Rumbaugh, S., and Baker, L.A. (2003). Vocal production by a language-competent *Pan paniscus*. *Int. J. Primatol.*, **24**, 1–17.
- Ward, P. and Brownlee, D. (2000). *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe* (New York: Copernicus Books).
- White, T.D., Suwa, G., and Asfaw, B. (1994). *Australopithecus ramidus*, a new species of early hominid from Aramis, Ethiopia. *Nature*, **371**, 306–312.
- Williams, R.S. and Ferrigno, J. (1999). Estimated present-day area and volume of glaciers and maximum sea level rise potential. pp. 1–10. Satellite Image Atlas of Glaciers of the World. Washington DC: US Geological Survey.
- Wills, C. (1993). *The Runaway Brain: The Evolution of Human Uniqueness* (New York: Basic Books).
- Wills, C. (1998). *Children of Prometheus: The Accelerating Pace of Human Evolution* (Reading, MA: Perseus Books [formerly Addison-Wesley]).
- Wills, C., Harms, K.E., Condit, R., King, D., Thompson, J., He, F., Muller-Landau, H.C.,

- Ashton, P., Losos, E., Comita, L., Hubbell, S., LaFrankie, J., Bunyavejchewin, S., Dattaraja, H.S., Davies, S., Esufali, S., Foster, R., Gunatilleke, N., Gunatilleke, S., Hall, P., Itoh, A., John, R., Kiratiprayoon, S., de Lao, S.L., Massa, M., Nath, C., Noor, M.N.S., Kassim, A.R., Sukumar, R., Suresh, H.S., Sun, I.-F., Tan, S., Yamakura, T., and Zimmerman, J. (2006). Nonrandom processes maintain diversity in tropical forests. *Science*, **311**, 527–531.
- Zhang, H.-X. and Blumwald, E. (2001). Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nat. Biotechnol.*, **19**, 765–768.
- Zink, R.M. and Slowinski, J.B. (1995). Evidence from molecular systematics for decreased avian diversification in the Pleistocene epoch. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)*, **92**, 5832–5835.