

BUDUČNOST SVEMIRA I DRUGI ESEJI



STEPHEN W.
HAWKING

Stephen W. Hawking

BUDUĆNOST SVEMIRA

I DRUGI ESEJI

SADRŽAJ

Predgovor	7
1. Djetinjstvo	11
2. Oxford i Cambridge	23
3. Moja iskustva s ALS-om	31
4. Odnos javnosti prema znanosti	37
5. Kratka povijest <i>Kratke povijesti</i>	43
6. Moje stanovište	51
7. Je li na pomolu kraj teorijske fizike?	59
8. Einsteinov san	79
9. Podrijetlo svemira	95
10. Kvantna mehanika crnih jama	111
11. Crne jame i djetišca-svemiri	125
12. Je li sve određeno?	137
13. Budućnost svemira	151
14. Razgovor: Ploče za pusti otok	167
Kazalo	187

PREDGOVOR

OVAJ SVEZAK JE zbirka radova koje sam napisao u razdoblju od 1976. do 1992. godine, a sežu od autobiografskih crtica, preko filozofije znanosti do pokušaja da objasnim uzbuđenje koja osjećam pred znanošću i svemirom. Svezak završava prijepisom emisije *Ploče za. pusti otok* u kojoj sam sudjelovao. To je osobita britanska serija u kojoj se od gosta traži da se zamisli na pustome otoku i odabere osam ploča uz koje bi želio provesti vrijeme dok ga ne spase. Na sreću, ja nisam morao predugo čekati povratak u civilizaciju.

S obzirom da su pisani tijekom šesnaest godina, tekstovi odražavaju moje znanje u vrijeme kad su pisani, a nadam se da se ono s godinama povećavalo. Zato sam naveo nadnevak i prigodu za koju su sastavljeni. Kako je

svaki napisan kao samostalan tekst, mnoge se pojedinosti u njima ponavljaju. Pokušao sam to umanjiti, no neka su ponavljanja ipak ostala.

Mnogi dijelovi ovog sveska osmišljeni su kao predavanja. Moj je govor bio tako nerazgovijetan da sam predavanja i seminare morao držati preko druge osobe, obično nekog od mojih studenata koji su me razumjeli ili su čitali tekst što sam ga napisao. Međutim, 1985. godine sam podvrgnut operaciji nakon koje sam u potpunosti izgubio moć govora. Neko vrijeme nisam bio u mogućnosti komunicirati. Na kraju sam dobio računalni program i začuđujuće dobar sintetizator govora. Na moje iznenađenje, otkrio sam da mogu biti uspješni javni govornik i obraćati se brojnoj publici. Uživam objašnjavati znanost i odgovarati na pitanja. Siguran sam da još mnogo toga mogu naučiti kako bih to radio bolje, ali nadam se da se popravljam. To možete i sami procijeniti čitajući ove stranice.

Ne slažem se s gledištem da je svemir tajna, nešto što se može naslutiti, ali ne i potpuno ispitati ili shvatiti. Smatram da se takvim gledištem nanosi nepravda znanstvenoj revoluciji koju je prije gotovo četiri stotine godina započeo Galileo, a nastavio Newton. Oni su pokazali da se barem neki dijelovi svemira ne ponašaju proizvoljno, već se pokoravaju strogim matematičkim zakonima. Tijekom godina koje su slijedile proširili smo rad Galileja i Newtona na gotovo sva područja svemira. Sada imamo matematičke zakone koji upravljaju svime što normalno doživljavamo. Mjerilo je našeg uspjeha da sada moramo trošiti milijarde dolara kako bismo izgradili divovske strojeve koji će ubrzavati čestice do tako visoke energije pri kojoj ne znamo što će se s njima dogoditi kad se sudare. Te vrlo visoke čestične energije se ne pojavljuju u normalnim prilikama na Zemlji, pa se trošenje velikih

svota za njihovo proučavanje može činiti akademskim i nepotrebnim. Međutim, one su se pojavile u vrijeme ranog svemira, pa je spoznavanje toga što se pri takvim energijama događa jedini put da doznamo kako je svemir započeo.

Još uvijek je mnogo toga što o svemiru ne znamo ili ne razumijemo. Ali značajni napredak koji je postignut, posebice u posljednjih stotinu godina, trebao bi nas potaknuti da vjerujemo kako potpuno razumijevanje možda nije izvan naših sposobnosti. Možda nismo zauvijek osuđeni tapkati u mraku. Možda se probijemo do cjelovite teorije svemira. U tom ćemo slučaju zaista biti Gospodari Svemira.

Znanstveni članci u ovom svesku napisani su u uvjerenju da svemirom vlada red koji već sada možemo djelomice sagledati, a u budućnosti koja nije tako daleka možda ćemo ga i u potpunosti shvatiti. Možda je ta nada samo zabluda; možda konačna teorija ne postoji, a ako i postoji, možda je mi nećemo otkriti. U svakom je slučaju bolje težiti potpunom razumijevanju nego beznađu ljudskoga uma.

STEPHEN HAWKING
31. ožujka 1993.

DJETINJSTVO

RODEN SAM 8. siječnja 1942, točno tristo godina nakon Galilejeve smrti. Računam, međutim, da je istoga dana rođeno još dvije stotine tisuća djece. Ne znam je li se ijedno od njih poslije zainteresiralo za astronomiju. Iako su mi roditelji živjeli u Londonu, rođen sam u Oxfordu. To je zato što su za vrijeme drugoga svjetskog rata Oxford smatrali dobrim mjestom za rođenje: Nijemci su pristali da neće bombardirati Oxford i Cambridge, a zauzvrat Britanci neće bombardirati Heidelberg i Göttingen. Šteta što se takvi civilizirani sporazumi nisu dali proširiti i na druge gradove.

* Prva dva poglavlja u ovoj knjizi temelje se na predavanju što sam ga bio održao u Međunarodnom udruženju za bolesti motornih neurona u Zurichu, rujna 1987., i upotpunjeni su zapisima iz 1991.

Otac mi je bio iz Yorkshirea. Njegov djed, moj pradjed, bio je imućan seljak. Kupio je previše zemlje i bankrotirao u poljodjeljskoj depresiji početkom ovoga stoljeća. Ostavio je roditelje moga oca u neimaštini, no ipak su ga uspjeli poslati u Oxford, gdje je studirao medicinu. Zatim se bavio istraživanjima u tropskoj medicini. Godine 1937. otišao je u istočnu Afriku. Kada je počeo rat, kopnom je prešao Afriku da bi se brodom vratio u Englesku, gdje se dobrovoljno javio u vojnu službu. Rekoše mu, međutim, da je vredniji u medicinskim istraživanjima.

Mati mi je rođena u Glasgowu u Škotskoj, kao drugo od sedmero djece liječnika opće medicine. Kad joj je bilo dvanaest godina, obitelj se preselila na jug, u Devon. Kao ni očeva obitelj, ni njezini nisu bili imućni. Ipak, uspjeli su moju majku poslati na Oxford. Poslije Oxforda radila je razne poslove, bila je i porezni inspektor, što joj se nije sviđalo. Napustila je taj posao i zaposlila se kao tajnica. Tako je u prvim godinama rata upoznala moga oca.

Živjeli smo u Highgateu, u sjevernom dijelu Londona. Moja sestra Mary rodila se osamnaest mjeseci poslije mene. Kažu da nisam oduševljeno pozdravio njezin dolazak. Cijelo vrijeme našega djetinjstva među nama je bilo neke napetosti, potpirivane malom razlikom u dobi. Međutim, kad smo odrasli, ta je napetost nestala, jer pošli smo na razne strane. Ona je postala liječnica, što je mom ocu bilo drago. Moja mlađa sestra Philippa rođena je kad mi je bilo već gotovo pet godina i kad sam već razumio što se događa. Sjećam se kako sam jedva čekao da dođe, pa da nas bude troje za igru. Bila je vrlo žestoka i imala je dar opažanja. Oduvijek cijenim njezine prosudbe i mišljenja.

Moj brat Edward došao je znatno kasnije, kad mi je bilo četrnaest godina, tako da ga u mom djetinjstvu za-

pravo nije ni bilo. Bio je sasvim različit od ostalo troje djece, potpuno neakademski i neintelektualan. To nam je vjerojatno dobro došlo. Bio je prilično teško dijete, ali ga se nije moglo ne voljeti.

Moja je najstarija uspomena kako stojim u jaslicama hajgejskoga Byron Housea i plačem kao ljuta godina. Svuda oko mene druga su se djeca igrala nekim fantastičnim igračkama. Htio sam im se pridružiti, ali bile su mi samo dvije i pol godine i bilo je to prvi put da su me ostavili s nepoznatima. Mislim da je moja reakcija prilično iznenadila moje roditelje, jer bio sam im prvo dijete, a oni su čitali knjige o razvoju djece u kojima piše da bi djeca s dvije godine trebala početi uspostavljati društvene dodire. Ali toga su me strašnog jutra odveli i još me godinu i pol nisu slali u Byron House.

U to vrijeme, tijekom i odmah poslije rata, Highgate je bio područje u kojem je živjelo dosta znanstvenika i ljudi sa sveučilišta. U nekoj drugoj zemlji zvali bi ih intelektualcima, ali Englezi nikad nisu priznavali da imaju intelektualaca. Svi su ti roditelji slali djecu u Byron House, koja je za svoje vrijeme bila vrlo progresivna škola. Sjećam se kako sam se roditeljima žalio da me tamo ničemu ne uče. U toj školi naime nisu vjerovali u tada općeprihvaćeni način utuvljivanja znanja u nekoga. Umjesto toga od vas se očekivalo da naučite sami čitati i ne shvaćajući da učite. Na kraju sam ipak naučio čitati, ali tek u prilično starijoj dobi, s osam godina. Moja sestra Philippa učila je čitati po konvencionalnijim metodama i čitala je već sa četiri godine. Ali ona je, uostalom, bila očito bistrija od mene.

Živjeli smo u visokoj i uskoj viktorijanskoj kući koju su moji roditelji vrlo jeftino kupili dok je trajao rat i dok su svi mislili da će London bombama biti srušen sa zemljom. I doista, jedna je V-2 pala nekoliko kuća dale-

ko od naše. U tom sam trenutku s majkom i sestrom bio negdje drugdje, no moj je otac bio u kući. Na sreću, nije ranjen, a ni kuća nije bila teško oštećena. Ali godinama je u ulici bio velik krater od bombe, gdje sam se igrao sa svojim prijateljem Howardom koji je stanovao tri kuće dalje. Howard mi je bio otkriće, jer njegovi roditelji nisu bili intelektualci kao što su to bili roditelji sve ostale djece koju sam poznavao. Išao je u općinsku školu, a ne u Byron House i razumio se u nogomet i boks, sportove koje moji roditelji ni u snu ne bi pogledali.

Druga rana uspomena je kako sam dobio prvi vlak. Za vrijeme rata se igračke nisu proizvodile, bar ne za domaće tržište. Ali ja sam se strasno zanimao za željezničke modele. Otac mi je pokušao napraviti drveni vlak, ali to me nije zadovoljilo, jer sam htio nešto što radi. Tako je otac nabavio rabljeni vlak na navijanje, popravio ga le-milicom i poklonio mi ga za Božić kad su mi bile tri godine. Taj vlak nije baš najbolje radio. Ali odmah poslije rata otac je otišao u Ameriku, a kad se vratio, brodom *Queen Mary*, donio je majci najlonske čarape kojih tada u Britaniji nije bilo. Mojoj sestri Mary donio je lutku kojoj se oči sklapaju kad je polegnete. A meni je donio američki vlak s plugom pred lokomotivom i tračnicama koje su išle u osmicu. Još se sjećam ushita koji me obuzeo kad sam otvorio kutiju.

Vlakovi na navijanje bili su dobri, ali zapravo sam želio električne. Satima sam znao gledati izlog jednoga kluba željezničkih modelara u Crouch Endu nedaleko od Highgatea. Sanjao sam električne vlakove. Napokon, kad su jednom moji roditelji nekamo otišli, iskoristio sam to da iz poštanske štedionice podignem svu onu malu uštedevinu od novca koji su mi poklanjali u svečanim prilikama poput krstitki. Novac sam potrošio na kupnju električnog vlaka, ali, na moje veliko razočaranje, taj vlak ni-

je dobro radio. Danas imamo potrošačka prava. Trebao sam odnijeti komplet natrag i zahtijevati da mi trgovac ili proizvođač daju drugi, ali u ono je vrijeme opći stav bio da si sretan ako nešto možeš kupiti, a ispadne li da je neispravno, to je tvoja zla sreća. Tako sam platio popravak električnog motora lokomotive, ali nikad nije radio baš najbolje.

Poslije sam, kao tinejdžer, sklapao makete aviona i brodova. Nikad nisam imao osobito spretne ruke, ali to sam radio zajedno sa školskim drugom Johnom McCle-nahanom, koji je bio znatno spretniji i čiji je otac imao radionicu u kući. Uvijek mi je bio cilj napraviti modele koji rade i kojima mogu upravljati. Bilo mi je svejedno kako će izgledati. Mislim da me taj nagon naveo i da s drugim školskim drugom, Rogerom Ferneyhoughom, izmislim niz vrlo složenih igara. Imali smo igru proizvodnje, s tvornicama u kojima su se radili raznobojni proizvodi, ceste i željeznice kojima se to prevozilo, pa i burzu. Imali smo i ratnu igru koja se igrala na ploči od četiristo četvornih metara, pa i feudalnu igru, u kojoj je svaki igrač bio cijela dinastija s punim obiteljskim stablom. Mislim da su te igre, jednako kao vlakovi, brodovi i avioni, nastale iz potrebe da doznam kako stvari funkcioniraju i kako se njima upravlja. Otkad sam počeo raditi na svom doktoratu, tu su potrebu zadovoljila moja kozmologijska istraživanja. Ako razumijete kako svemir radi, donekle njime i vladate.

Radno mjesto moga oca preselilo se 1950. godine iz Hampsteada, nedaleko Highgatea, u novosagrađeni Nacionalni institut za medicinska istraživanja u Mill Hillu na sjevernom rubu Londona. Umjesto putovati iz Highgatea, činilo se razumnijim da se preselimo iz Londona i putujemo u grad. Tako su moji roditelji kupili kuću u stolnom gradu St. Albansu, tridesetak kilometara sjever-

no od Mill Hilla i trideset kilometara sjeverno od Londona. Bila je to prostrana viktorijanska kuća koja je imala neku otmjenost i šarm. Kad su je kupili, moji roditelji nisu bili baš imućni, a moralo se na njoj obaviti dosta posla prije no što smo mogli useliti. Poslije toga je otac, kao pravi Jorkširac, odbio plaćati ikakve daljnje popravke. Činio je što je mogao da se kuća ne raspadne i da ostane oličena, no bila je to velika kuća, a on baš nije bio majstor u takvim stvarima. Međutim, kuća je bila čvrsto građena i izdržala je takvu nebrigu. Roditelji su je prodali 1985. godine, kad mi je otac bio jako bolestan (umro je 1986.). Nedavno sam je vidio. Čini se da na njoj nisu mnogo radili, ali još uvijek izgleda jednako.

Kuća je bila projektirana za obitelj s poslugom i u sobi za serviranje je bila ploča na kojoj se moglo vidjeti iz koje se sobe zvonilo. Mi, naravno, nismo imali poslugu, ali moja je prva soba bila sobica u obliku slova L koja je vjerojatno bila namijenjena sobarici. Tražio sam je na prijedlog svoje sestrične Sarah koja je bila nešto starija od mene i koju sam jako volio. Jedna od najprivlačnijih stvari u toj sobici bilo je to što se kroz prozor moglo izići na krov barake za bicikle, a odatle skočiti na zemlju.

Sarah je bila kći Janet, najstarije sestre moje majke, koja se školovala za liječnicu, a udala za psihoanalitičara. Živjeli su u prilično sličnoj kući u Harpendenu, selu osam kilometara sjevernije. Oni su bili jedan od razloga našega preseljenja u St. Albans. Biti blizu Sarah bilo mi je prava premija i često sam autobusom išao u Harpen-den. St. Albans je podignut uz ostatke staroga rimskog grada Verulamiuma, koji je bio, nakon Londona, najvažnije rimsko naselje u Britaniji. U srednjem vijeku tu je bio najbogatiji britanski samostan. Sagradili su ga oko groba svetog Albana, rimskoga centuriona za kojega kažu da je bio prvi čovjek koji je u Britaniji ubijen zbog

kršćanske vjere. Sve što je ostalo od opatije vrlo je velika i prilično ružna opatijska crkva i stara ulazna zgrada, koja je poslije uključena u školu koju sam pohađao.

St. Albans je u usporedbi s Highgateom ili Harpen-denom bio nekako naporan i konzervativan. Moji roditelji jedva da su se tamo s nekim sprijateljili. Dijelom je to bilo njihovom krivnjom, jer su im naravi, pogotovo očeva, bile prilično usamljeničke. Ali pokazivalo je to i drugi tip pučanstva; nitko od roditelja mojih školskih drugova ne bi mogao odgovarati opisu intelektualca.

U Highgateu je naša obitelj bila nešto prilično normalno, no u St. Albansu mislim da su nas sigurno smatrali ekscentričnima. Taj je dojam pojačavalo ponašanje mog oca, kojemu nije bilo do vanjskoga dojma ako je na tome mogao uštedjeti. Kad je bio mlad, njegova je obitelj bila vrlo siromašna, a to je na njemu ostavilo trajan pečat. Nije se mogao prisiliti da potroši novac na svoju udobnost čak ni kad si je to, u kasnijim godinama, mogao priuštiti. Nije htio potrošiti na centralno grijanje iako je bio zimogrožljiv. Umjesto toga nosio je nekoliko džempera i kućni ogrtač preko obične odjeće. Bio je, međutim, vrlo velikodušan prema drugima.

Pedesetih je godina mislio da si ne možemo priuštiti nov automobil i kupio je predratni londonski taksi, pa smo on i ja izgradili metalni hangar umjesto garaže. Susjedi su se ljutili, no nisu nas mogli spriječiti. Ja sam, poput većine dječaka, osjećao potrebu sklada s okolinom i stidio sam se roditelja. No njih to nije zabrinjavalo.

Kad smo stigli u St. Albans, poslali su me u Srednju djevojačku, koja je, usprkos imenu, primala i dječake do desete godine starosti. Nakon jednoga polugodišta, otac je otišao na jedno od svojih gotovo redovitih godišnjih putovanja u Afriku, ovaj put na nešto dulje vrijeme, gotovo četiri mjeseca. Mati nije htjela ostati sama cijelo to

vrijeme, pa je sa mnom i s mojim sestrama otišla u posjet svojoj školskoj kolegici Beryl koja je bila udana za pjesnika Roberta Gravesa. Živjeli su u selu zvanom Deya, na španjolskom otoku Majorci. Bilo je to samo pet godina poslije rata i španjolski diktator Francisco Franco, saveznik Hitlera i Mussolinija, još je bio na vlasti. (U stvari ostao je na vlasti još dvadeset godina.) Bez obzira na to, moja majka, koja je prije rata bila član Saveza mladih komunista, pošla je brodom i vlakom s dvoje male djece na Majorcu. Unajmili smo kuću u Deyi i bilo nam je jako dobro. Zajedno s Robertovim sinom Williamom imao sam privatnog učitelja. Bio je to Robertov štićenik kojega je više zanimalo da napiše dramu za edinburški festival nego da nas nečemu podučiti. Tako nam je svaki dan davao da pročitamo jedno poglavlje Biblije i o tome nešto napišemo. Tako nas je htio učiti ljepoti engleskoga jezika. Do moga odlaska prošli smo cijeli Postanak i dio Izlaska. Jedna od glavnih stvari kojima me učio bila je da mi rečenice ne smiju počinjati s "i". Rekao sam mu da u Bibliji većina rečenica počinje s "i", a on je odgovorio da se engleski promijenio od vremena kralja Jakova. Ako je tako, rekoh, zašto nas tjera da čitamo Bibliju? Ali bilo je uzalud. Robert Graves tada je bio jako oduševljen biblijskom simbolikom i mistikom.

Kad smo se vratili s Majorce, poslali su me na godinu dana u drugu školu, a zatim sam pristupio takozvanom ispitu "preko jedanaest". Bio je to test inteligencije kojem su tada pristupala sva djeca koja su tražila bolje školovanje. Sada je ukinut, uglavnom zato što je mnogo djece iz srednje klase na njemu padalo i poslano u neakademske škole. Ali ja sam uglavnom znatno bolje prolazio na testovima i ispitima nego u svakodnevnom radu, pa sam prošao taj test i dobio mjesto u školi u St. Alban-su.

Kad mi je bilo trinaest godina, otac je htio da pokušam otići u Westminsteršku školu, jednu od glavnih "javnih" — što znači privatnih — škola. U to je doba među klasama postojala velika razlika u naobrazbi. Moj je otac mislio da je njegov nedostatak prodornosti i veza doveo do toga da su ga prestizali ljudi manjih sposobnosti, ali veće društvene spretnosti. Budući da mi roditelji nisu bili imućni, morao sam dobiti stipendiju. Međutim, u vrijeme ispita za stipendiju bio sam bolestan, pa nisam pristupio. Tako sam ostao u školi u St. Albansu. Tamo sam dobio naobrazbu koja je bila jednako dobra, a možda i bolja nego u Westminsteru. Nikad nisam držao da me nedostatak društvene spretnosti koči.

Englesko je obrazovanje u to doba bilo vrlo hijerarhijsko. Ne samo što su se škole dijelile na akademske i neakademske, nego su se i akademske škole dijelile u ogranke A, B i C. To je bilo dobro za one u ogranku A, ne baš tako dobro za one u B, a vrlo loše za one u C, koje je obeshrabrivalo. Na temelju rezultata testa "preko jedanaest" ja sam došao u skupinu A. Ali nakon prve godine, svi koji su bili ispod dvadesetog mjesta u razredu, bili bi premješteni u skupinu B. To je bio težak udarac njihovu samopouzdanju i od toga se neki nikad ne bi oporavili. U prva dva roka na St. Albansu bio sam dvadeset četvrti i dvadeset treći, no u trećem sam bio osamnaesti. Tako sam se provukao.

Nikad nisam bio u boljoj polovini razreda. (Bio je to vrlo bistar razred.) Radovi su mi bili vrlo neuredni, a rukopisom sam tjerao nastavnike u očaj. Ali školski su mi drugovi dali nadimak Einstein jer su valjda očekivali da će biti bolje. Kad mi je bilo dvanaest godina, jedan se moj prijatelj o vrećicu bombona kladio s jednim drugim da nikad neću ništa postići. Ne znam je li ta oklada ikad riješena i tko je dobio.

Imao sam pet~šest bliskih prijatelja, a s većinom se još družim. Znali smo nadugo raspravljati o svemu i svačemu, od daljinski upravljanih maketa do vjere i od pa-rapsihologije do fizike. Jedna od stvari o kojima smo razgovarali bio je postanak svemira i bi li za nastanak i postojanje svemira bio potreban kakav bog. Čuo sam da se svjetlost dalekih galaktika pomiče prema crvenom dijelu spektra i da bi to trebalo značiti da se svemir širi. (Skretanje prema plavom značilo bi da se steže.) Ali bio sam siguran da za pomak u crveno mora postojati i neki drugi razlog. Možda se svjetlost na putu do nas umorila i od toga pocrvenjela. Svemir koji se u bitnome ne mijenja i vječno traje činio se znatno prirodnijim. Tek nakon dvije godine istraživanja za doktorat shvatio sam da sam pogriješio.

Stigavši do zadnje dvije školske godine, htio sam se specijalizirati za matematiku i fiziku. U školi je bio poticajan profesor matematike, g. Tahta, a škola je upravo bila izgradila novu matematičku učionicu koja je matematičkom razredu bila glavna učionica. Ali otac je bio jako protiv toga. Mislio je da za matematičare neće biti posla, osim nastavničkog. Zapravo bi njemu bilo najdraže da sam pošao na medicinu, no ja se nisam zanimao za biologiju, koja mi se činila previše opisnom i nedovoljno fundamentalnom. K tomu, biologija je u školi prilično nisko kotirala. Najbistriji momci bavili su se matematikom i fizikom, a oni manje bistri biologijom. Otac je znao da se ne želim baviti biologijom, pa me tjerao da uzmem kemiju i samo malo matematike. Mislio je da će mi tako mogućnost izbora između prirodnih znanosti ostati otvorena. Sada sam profesor matematike, ali otkad sam sa sedamnaest godina napustio St. Albans nisam pohađao nikakvu službenu nastavu matematike. Matematiku koju sada znam morao sam naučiti usput. Nadzirao sam stu-

dente u Cambridgeu, i bio sam tjedan dana pred njima u nastavi.

Moj se otac bavio istraživanjima tropskih bolesti i često me vodio u svoj laboratorij u Mill Hillu. Volio sam to, pogotovo promatrati kroz mikroskope. Također me vodio u kuću kukaca, gdje je držao komarce zaražene tropskim bolestima. To me zabrinjavalo jer mi se uvijek činilo da nekoliko komaraca slobodno leti uokolo. On je bio vrlo marljiv i predan svom istraživanju. Bio je ponešto svadljiv jer je imao dojam da ga prestižu drugi, koji nisu tako dobri, ali dolaze iz odgovarajućih sredina i imaju odgovarajuće veze. Često me upozoravao na takve. No čini mi se da je fizika nešto drukčija od medicine. Nije važno u kakvu školu ideš ili s kim si u rodu. Važno je što radiš.

Uvijek me jako zanimalo kako stvari rade i rado sam ih rastavljao da vidim kako su napravljene, no nisam bio tako spretnan u ponovnom sklapanju. Moje praktične sposobnosti nikad nisu bile ravne teorijskim zanimanjima. Moj je otac poticao moje zanimanje za prirodoslovlje, pa me podučavao i u matematici, dok nisam došao predaleko za njegovo znanje. S tim iskustvom i s očevim zanimanjem, držao sam da bih se prirodno trebao baviti znanstvenoistraživačkim radom. U ranoj mladosti nisam razlikovao jednu prirodnu znanost od druge. Ali od trinaeste ili četrnaeste godine znao sam da želim istraživati fiziku, jer je ona najtemeljnija znanost. Bilo je to usprkos činjenici da je fizika u školi bila najdosadniji predmet, jer mi je bila tako laka i očita. Kemija je bila znatno zabavnija, jer su se stalno događale neočekivane stvari, poput eksplozija. Ali fizika i astronomija davale su mi nade da ću shvatiti odakle smo došli i zašto smo ovdje. Htio sam premjeriti najveće dubine svemira. Možda sam u tome donekle i uspio, ali još je mnogo toga što želim doznati.

OXFORD I CAMBRIDGE

MOJ JE OTAC JAKO ŽELIO da pođem na Oxford ili Cambridge. On sam pohađao je oksfordski University College, pa je držao da bih se trebao tamo prijaviti, jer bi mi to dalo veću vjerojatnost da ću ući. U ono doba University College nije imao nastavu matematike, što je bilo dodatni razlog zašto je htio da se bavim kemijom. Mogao sam umjesto matematike pokušati dobiti stipendiju iz prirodoslovlja.

Ostatak obitelji otišao je na godinu dana u Indiju, no ja sam morao ostati i obaviti prijemne ispite i upis. Moj je razrednik mislio da sam premlad za Oxford, no ja sam, u ožujku 1959. s još dvojicom momaka, koji su bili godinu ispred mene, došao na ispite za stipendiju. Bio sam uvjeren da sam slabo prošao i bio sam jako potišten kada

su za vrijeme praktičnog dijela ispita nastavnici razgovarali s drugima, a ne sa mnom. A onda, nekoliko dana nakon što sam se vratio iz Oxforda, stigao je brzojav koji je javljao da sam dobio stipendiju.

Bilo mi je sedamnaest godina i većina momaka na mojoj studentskoj godini odslužila je vojsku i bili su stariji od mene. Prve sam godine i dio druge bio prilično usamljen. Tek sam se u trećoj godini tamo osjećao doista dobro. U Oxfordu je tada opće raspoloženje bilo vrlo neradno. Očekivalo se od vas da budete sjajni i bez napora, ili da prihvatite svoja ograničenja i prihvatite diplomu četvrtog razreda. Truditi se da dobijete bolji razred ili ocjenu držalo se znakom da ste sivi čovjek, što je najgori epitet u oksfordskom rječniku.

U ono je vrijeme studij fizike na Oxfordu bio uređen tako da je bilo osobito lako izbjeći rad. Obavio sam jedan ispit prije drugog stupnja, a onda sam tri godine bio na Oxfordu sa samo završnim ispitima na kraju. Jednom sam izračunao da sam u tri godine boravka tamo radio samo oko tisuću sati, prosječno jedan sat dnevno. Nisam ponosan na taj nerad. Samo opisujem svoje tadašnje raspoloženje, koje je bilo zajedničko s ostalim studentima; bilo je to raspoloženje potpunog dosađivanja i osjećaja da se ni za što ne vrijedi potruditi. Jedan od učinaka moje bolesti bio je da se sve to promijenilo: Kad se suočite s mogućnošću skore smrti, to vas natjera da shvatite kako život vrijedi živjeti i da mnogo toga želite učiniti.

Zbog nedovoljnog rada, namjeravao sam završni ispit proći tako da obradim probleme iz teorijske fizike i izbjegnem pitanja koja bi tražila činjenično znanje. Noć prije ispita nisam spavao od živčane napetosti, pa mi dakle nije dobro ni išlo. Bio sam na rubu između prvorazredne i drugorazredne ocjene, pa su me ispitivači trebali usmeno ispitati da vide kakvu će mi ocjenu dati. Na ispi-

tu su me pitali o budućim planovima. Odgovorio sam da se želim baviti istraživanjima. Ako mi daju prvi stupanj, ići ću na Cambridge. Dobijem li drugi, ostajem u Oxfordu. Dali su mi prvi.

Osjećao sam da postoje dva moguća područja teorijske fizike koja su dovoljno fundamentalna i u kojima bih mogao istraživati. Jedna je bila kozmologija, proučavanje vrlo velikog. Druga je bila fizika elementarnih čestica, proučavanje vrlo malog. Elementarne sam čestice smatrao manje privlačnima jer, iako su tada znanstvenici nalazili mnoge nove čestice, još nije bilo prave teorije. Sve što su mogli učiniti bilo je slagati ih u obitelji, kao u botanici. U kozmologiji, međutim, postojala je dobro razrađena teorija, Einsteinova opća teorija relativnosti.

U Oxfordu tada nitko nije radio na kozmologiji, ali u Cambridgeu je bio Fred Hoyle, najugledniji britanski astronom toga doba. Moja prijava za istraživački rad u Cambridgeu bila je prihvaćena pod uvjetom da dobijem prvi stupanj, no na moje nezadovoljstvo voditelj mi nije bio Hoyle, nego čovjek imenom Denis Sciama, o kojem nisam ništa znao. Na kraju je to ispalo i bolje. Hoyle je često bio u inozemstvu i vjerojatno ga ionako ne bih često vidio. S druge strane, Sciama je bio tamo, i uvijek je bio poticajan, iako se često nisam slagao s njegovim idejama.

Budući da se ni u školi ni u Oxfordu nisam mnogo bavio matematikom, opća mi je relativnost na početku bila vrlo teška i nisam brzo napredovao. Također, zadnje godine u Oxfordu sam primijetio da sam postao vrlo nespretan u pokretima. Brzo nakon dolaska u Cambridge, dijagnosticirana mi je ALS, amiotrofična lateralna skleroza, ili bolest motornih neurona, kako je zovu u Engleskoj. (U Sjedinjenim Državama također je zovu Lou Gehrig's disease, bolest Loua Gehriga) Liječnici mi nisu mogli naći lijeka niti obećati da se bolest neće pogoršati.

Najprije se činilo da se bolest razvija prilično brzo. Činilo se da nema mnogo smisla raditi na istraživanjima, jer se nije očekivalo da ću živjeti dovoljno dugo da završim doktorat. Međutim, s vremenom bolest kao da je usporila. Počeo sam shvaćati opću teoriju relativnosti i napredovati u poslu. Ali ono što je doista dovelo do napretka je to što sam se zaručio s djevojkom imenom Jane Wilde, koju sam upoznao nekako istodobno kad su mi dijagnosticirali ALS. To mi je dalo razloga da živim.

Ako smo se kanili ženiti, morao sam se zaposliti, a da bih se zaposlio, morao sam doktorirati. Tako sam dakle počeo prvi put u životu raditi. Na moje veliko iznenađenje, to mi se svidjelo. Netko je jednom rekao: znanstvenici i prostitutke plaćeni su da rade ono u čemu uživaju.

Prijavio sam se za posao istraživača na *Gonville and Caius Collegeu* (što se izgovara *Keys*). Nadao sam se da će Jane otipkati moju prijavu, no kad me došla posjetiti u Cambridgeu, ruka joj je bila u gipsu, jer ju je slomila. Moram priznati da sam pokazao manje sažaljenja nego što je trebalo. Međutim, bila je to lijeva ruka, pa je mogla po mom diktatu napisati prijavu, a našao sam nekoga drugog da je natipka.

U prijavi sam morao navesti imena dviju osoba koje mogu dati reference o mom radu. Moj je pročelnik predložio da zamolim Hermanna Bondija. Bondi je tada bio profesor matematike na Kings Collegeu u Londonu i stručnjak za opću teoriju relativnosti. Nekoliko sam se puta susreo s njim, a on je poslao jedan rad koji sam napisao časopisu *Proceedings of the Royal Society*. Nakon nekog predavanja koje je održao u Cambridgeu zamolio sam ga, a on me rastreseno pogledao i rekao da, učinit će to. Očito me se nije sjetio, jer kad mu je koledž pisao i zamolio ga za reference, odgovorio je da me ne pozna.

Danas se koledžima prijavljuje toliko ljudi za istraživanja da ako netko na koga se kandidat pozove za referencu odgovori da ga ne pozna, to znači kraj karijere. Ali ono su bila mirnija vremena. Koledž mi je pisao da me obavijesti o neugodnom odgovoru čovjeka na kojeg sam se pozvao, a moj se voditelj bacio na Bondija i osvježio mu pamćenje. Bondi mi je tada napisao referencu koja je bila vjerojatno znatno bolja no što sam zaslužio. Dobio sam posao i otad sam član Caius Collegea.

To je značilo da se Jane i ja možemo vjenčati, što smo i učinili u srpnju 1965. Jednotjedni medeni mjesec proveli smo u Suffolku, jer si više od toga nisam mogao priuštiti. Zatim smo otišli na ljetnu školu opće relativnosti na Svečilište Cornell u državi New York. To je bila pogrešna odluka. Bili smo u studentskom domu punom parova s malom bučnom djecom i to je bilo priličan napor za naš brak. S druge strane, međutim, ta mi je ljetna škola bila vrlo korisna, jer sam upoznao mnoge od vodećih ljudi na tom području.

Do 1970. godine moj se istraživački rad odnosio na kozmologiju, proučavanje svemira na veliko. Najvažniji mi je rad u tom razdoblju bio o singularnostima. Promatranja dalekih galaktika pokazuju da se one udaljuju od nas: svemir se širi. To pokazuje da su galaktike nekad morale biti bliže jedna drugoj. Tako se postavlja pitanje: Je li u prošlosti bilo vrijeme kada su galaktike bile jedna na drugoj, a gustoća svemira beskrajna? Ili je postojala prethodna faza skupljanja u kojoj su galaktike uspjele izbjeći da se međusobno sudare? Možda su proletjele jedna pokraj druge i počele se odmicati jedna od druge. Da bi se na to pitanje moglo odgovoriti, bile su potrebne nove matematičke tehnike. Takve su tehnike razvijene između 1965. i 1970, a razvili smo ih najviše Roger Penro-se i ja. Penrose je tada bio u Birkbeck Collegeu u Londo-

nu; sada je na Oxfordu. Tim smo se tehnikama poslužili da pokažemo kako je, ako je opća teorija relativnosti točna, nekada moralo postojati stanje beskrajne gustoće.

To stanje beskrajne gustoće nazvano je singularno-šću Velikog praska. To znači da znanost neće moći predvidjeti kako je svemir nastao, ako je opća teorija relativnosti točna. Međutim, moji noviji radovi ukazuju na to da je moguće predvidjeti kako nastaje svemir ako se u obzir uzme teorija kvantne fizike, teorija vrlo malog.

Opća teorija relativnosti također kaže da će se masivne zvijezde urušiti u sebe kad potroše svoje nuklearno gorivo. Rad koji smo obavili Penrose i ja pokazao je da se te zvijezde nastavljaju urušavati dok ne dođu do singularnosti beskrajne gustoće. Ta bi singularnost bila kraj vremena, bar za zvijezdu i sve na njoj. Gravitacijsko polje te singularnosti bilo bi tako jako da svjetlost ne bi mogla pobjeći iz područja oko nje, jer bi je gravitacijsko polje usisalo natrag. Područje s kojega se ne može pobjeći zove se crna jama, a njegove se granice zovu događajni obzor. Tko god ili što god upadne u crnu jamu preko događajnog obzora doći će u singularnosti do kraja vremena.

Mislio sam na crne jame legavši jedne noći 1970, kratko nakon što mi se rodila kći Lucy. Iznenada sam shvatio da mnoge od tehnika koje smo Penrose i ja razvili da bismo dokazali singularnosti, mogu biti primjenjive i za crne jame. Pogotovo područje događajnog obzora, rub crne jame, ne može se vremenom smanjiti. A kad se dvije crne jame sudare i spoje, pa tako stvore jednu jamu, područje obzora te konačne jame trebalo bi biti veće od zbroja područja obzora izvornih crnih jama. To je postavilo važnu granicu količini energije koja bi se mogla emitirati u takvom sudaru. Toliko me to uzбудilo da te noći nisam mnogo spavao.

Od 1970. do 1974. radio sam uglavnom na crnim jamama. Ali 1974. godine došao sam do svoga vjerojatno najčudesnijega otkrića: crne jame nisu potpuno crne! Uzme li se u obzir ponašanje tvari na malo, čestice i zračenje mogu istjecati iz crne jame. Crna jama zrači kao da je vruće tijelo.

Od 1974. radio sam na povezivanju opće teorije relativnosti i kvantne mehanike u jednu čvrstu teoriju. Jedan od rezultata bila je pretpostavka koju sam iznio 1983. godine s Jimom Hartleom s Kalifornijskog sveučilišta iz Santa Barbare: da su i vrijeme i prostor konačni, ali nemaju ni ruba ni granica. Mogli bi biti poput Zemljine površine, ali s dvije dimenzije više. Zemljina je površina konačna kad je riječ o prostoru, ali nema granica. Ni na jednom od svih svojih putovanja nisam uspio pasti s ruba svijeta. Ako je ta pretpostavka točna, onda nema singularnosti, a zakoni prirode vrijedili bi svuda, pa i na početku svemira. Način kako svemir nastaje tako bi bio određen zakonima znanosti. To bi značilo da sam možda uspio u svojoj težnji da doznam *kako* je svemir nastao. Ali još ne znam *zašto* je nastao.

MOJA ISKUSTVA S ALS-om*

VRLO ME ČESTO PITAJU: Kako ti je imati ALS? Moj je odgovor: ne baš bogznakako. Nastojim živjeti što normalnijim životom i ne misliti u kakvom sam stanju ili žaliti za onim što ne mogu raditi, čega i nema tako mnogo. Vrlo me jako pogodilo kad sam otkrio da imam bolest motornih neurona. Kao dijete nisam imao jako dobru koordinaciju. Nisam bio dobar u igrama loptom, pa mi možda i zato nije bilo stalo do sporta i tjelesnih aktivnosti. Ali kad sam otišao na Oxford stvari kao da su se promijenile. Bavio sam se kormilarenjem i veslanjem. Nisam baš bio na razini za onu utrku čamaca, ali sam prolazio na natjecanjima pojedinih koledža.

*Govor na konferenciji Britanskog udruženja za bolest motornih neurona, Birmingham, listopad 1987.

Međutim, na trećoj godini Oxforda, primijetio sam kako kao da postajem nespretniji, pa sam jedanput ili dvaput i pao bez nekog vidljivog razloga. Ali tek kad sam se našao na Cambridgeu, godinu dana kasnije, moja majka primijetila je to i poslala me obiteljskom liječniku. On me uputio specijalisti, pa sam, brzo nakon dvadeset i prvoga rođendana, otišao u bolnicu na pretrage. Tamo sam proveo dva tjedna, za koje sam vrijeme prošao mnogo raznih pretraga. Uzeli su mi uzorak mišića iz ruke, nabadali su me elektrodama, ubrizgavali mi neku radio-contrastnu tekućinu u kralježnicu i promatrali kako ide gore-dolje dok oni ljuljaju ležaj. Nakon svega toga nisu mi rekli što mi je, osim da to nije multipla skleroza i da sam atipičan slučaj. Shvatio sam, međutim, da očekuju da se stvar nastavi pogoršavati i da mi ne mogu nikako pomoći, osim što će mi davati vitamine. Shvatio sam da od toga ne očekuju velik uspjeh. Nije mi se pitalo o pojedinostima, jer bilo je očito da su loše.

Shvatiti da imam neizlječivu bolest koja će me vjerojatno ubiti za nekoliko godina bilo mi je priličan šok. Kako mi se takvo što moglo dogoditi? Zašto bih bio na takav način prekinut? Međutim, dok sam bio u bolnici vidio sam kako u krevetu preko puta neki dječak, kojeg sam površno poznao, umire od leukemije. To nije bio lijep prizor. Bilo je jasno da ima ljudi kojima je gore nego meni. Ako ništa drugo, od svoje se bolesti nisam osjećao bolesno. Kad god mi dođe da se počnem samosažaljevati, sjetim se tog dječaka.

Ne znajući što će mi se dogoditi i kako će brzo bolest napredovati, našao sam se nigdje. Liječnici su mi rekli da se vratim u Cambridge i nastavim proučavanja opće relativnosti i kozmologije koja sam upravo bio započeo. Ali nisam baš napredovao, jer nisam imao dovoljno matematičkog znanja — a moglo mi se dogoditi i da ne

poživim dovoljno dugo da dovršim doktorat. Osjećao sam se kao lik kakve tragedije, no priče po tisku da sam se opijao pretjerane su. Problem je u tomu što kad je to jedan list napisao, drugi su prenijeli, jer je to davalo dobru priču. Ono o čemu se toliko pisalo mora biti istina.

Snovi su mi u to vrijeme bili nemirni. Prije nego što mi je bolest dijagnosticirana, bilo mi je dosta svega. Činilo mi se da ništa nije vrijedno truda. Ali ubrzo nakon što sam izišao iz bolnice, sanjao sam da ću biti pogubljen. Izenada sam shvatio da ima mnogo toga što mogu učiniti dobijem li odgodu. Drugo što sam nekoliko puta sanjao bilo je da ću žrtvovati svoj život za druge. Uostalom, ionako ću umrijeti, pa bih mogao učiniti i nešto korisno.

Ali nisam umro. Zapravo, iako mi je nad budućnošću bio crni oblak, iznenađeno sam otkrio da sada uživam život više nego prije. Počeo sam napredovati u istraživanju, zaručio se i oženio, a dobio sam i posao istraživača u Caius Collegeu na Cambridgeu.

Ulazak u Caius riješio je moj neposredni problem glede zaposlenja. Sreće je bila što sam odlučio raditi teorijsku fiziku, jer to je bilo jedno od rijetkih područja u kojem mi bolest ne bi morala biti ozbiljan hendikep. A imao sam sreću i što je moj znanstveni ugled porastao baš kad mi se zdravlje pogoršavalo. To je značilo da su mi mogli dati niz poslova u kojima sam mogao samo istraživati, a nisam morao i predavati.

Imali smo sreće i sa stanom. Kad smo se vjenčali, Jane je još studirala na Westfield Collegeu u Londonu, pa je morala preko tjedna biti u Londonu. To je značilo da moramo naći negdje gdje ću se snaći sam i što je blizu centra, jer nisam mogao hodati daleko. Pita sam koledž bi li mi oni mogli pomoći, no tadašnji mi je rizničar odgovorio da je politika koledža ne pomagati članovima u

rješavanju stambenih problema. Prijavili smo se dakle za najam jednoga od nekoliko novih stanova što su se gradili kod tržnice. (Godinama poslije otkrili smo da je koledž zapravo vlasnik tih stanova, ali to mi nisu rekli). Kad smo se poslije ljeta u Americi vratili u Cambridge, otkrili smo da stanovi još nisu spremni za useljenje. Kao veliku uslugu, rizničar nam je ponudio sobu u prenoćištu za svršene studente. Rekao je: "Obično noćenje u toj sobi naplaćujemo dvanaest šilinga i pet penija. Međutim, budući da će vas biti dvoje, naplatit ćemo vam dvadeset i pet šilinga."

Tamo smo ostali samo tri noći. Zatim smo našli kućicu, stotinjak metara od mog odjela na sveučilištu. Pripadala je nekom drugom koledžu koji ju je iznajmio nekom svom članu. On se nedavno bio preselio u kuću u predgrađu i dao nam ju je u podnajam na tri mjeseca koliko je preostalo do isteka njegova ugovora o najmu. U ta smo tri mjeseca otkrili da u istoj ulici ima jedna prazna kuća. Jedan je susjed našao vlasnicu u Dorsetu i rekao joj da je skandalozno da joj kuća bude prazna kad mladi ljudi traže smještaj, pa nam je kuću iznajmila. Nakon nekoliko godina u toj kući poželjeli smo je kupiti i urediti, pa smo zamolili koledž da nam da kredit. Koledž nas je provjerio i zaključio da smo rizično ulaganje. Tako smo na kraju uzeli kredit od jednog građevinskog poduzeća, a moji su nam roditelji dali novac da kuću uredimo.

U toj smo kući živjeli još četiri godine, dok mi nije postalo preteško penjati se stubištem. Tada me već koledž znatno više cijenio, a došao je i novi rizničar. Tako su nam ponudili prizemni stan u kući koja je bila vlasni-^{štvo} koledža. To mi je odgovaralo, jer je stan imao prostrane sobe i široka vrata. Bila je dovoljno blizu centra da sam do svog odjela na koledžu mogao doći električnim invalidskim kolicima. Bilo je to dobro i za naše troje

djece, jer je bila okružena vrtom koji su održavali sveučilišni vrtlari.

Do 1974. mogao sam se sam hraniti i lijevati i ustajati. Jane mi je uspjela pomagati i odgajati dvoje djece bez tuđe pomoći. Tada su međutim, stvari postale složenije, pa smo odlučili uzeti nekoga od mojih suradnika na istraživanjima da živi s nama. U zamjenu za besplatan smještaj i mnogo moje pažnje, pomagali su mi lijevati i ustajati. Od 1980. prešli smo na sustav javnih i privatnih njegovateljica koje su dolazile na sat-dva ujutro i navečer. To je potrajalo sve dok 1985. nisam dobio upalu pluća. Morao sam se podvrgnuti traheotomiji, a otad mi je trebala stalna cjelodnevna njega. To su nam omogućili prilozima nekoliko zaklada.

I prije operacije govor mi je postajao sve nerazgovjetniji, pa su me mogli razumjeti samo ljudi koji me poznaju. Ali mogao sam barem komunicirati. Znanstvene sam radove pisao tako što sam ih diktirao tajnici, a seminare sam držao tako što je netko jasnije izgovarao ono što bih rekao. Međutim, traheotomija mi je potpuno oduzela moć govora. Neko sam vrijeme mogao komunicirati samo tako da podignem obrve kad bi mi tko pokazao odgovarajuće slovo na pločici. Tako je prilično teško ikako održavati razgovor, a kamo li pisati znanstveni rad. Međutim, kalifornijski stručnjak za računala imenom Walt Woltosz čuo je za moju nevolju. Poslao mi je računalni program koji je napisao i nazvao ga *Equalizer* (izjednači-telj). To mi je omogućilo biranje riječi iz niza menija na ekranu tako što ću rukom pritiskati prekidač. Programom se također moglo upravljati pokretima glave ili oka. Kad složim što želim reći, mogu to poslati sintetizatoru govora.

Isprva sam program *Equalizer* imao na stolnom računalu. Zatim je David Mason iz tvrtke *Cambridge*

Adaptive Communications postavio malo računalo i sintetizator govora na moja kolica. Taj mi sustav omogućuje znatno bolje komuniciranje nego prije. Mogu postići do petnaest riječi u minuti. Mogu izgovoriti što sam napisao ili to mogu spremi na disk. Zatim to mogu iznova pozvati i izgovoriti rečenicu po rečenicu. Pomoću tog sustava napisao sam dvije knjige i više znanstvenih radova. Također sam održao niz znanstvenih i popularnih predavanja. Ta su predavanja dobro prihvaćena. Mislim da je to dobrim dijelom zahvaljujući kakvoći sintetizatora govora koji je napravila tvrtka *Speeeh Plus*. Vrlo je važno kakav vam je glas. Ako imate nerazgovijetan glas, ljudi su skloni prema vama se ponašati kao da ste mentalno defektni. Ovaj je sintetizator najbolji koji sam dosad čuo, jer ima i promjenjivu intonaciju i ne izgovara poput Daleka. Jedini je problem što mi daje američki naglasak. Međutim, sada sam se počeo i identificirati s njegovim glasom. Ne bih ga mijenjao niti kad bi mi ponudili glas s britanskim izgovorom. Osjećao bih se kao da sam postao netko drugi.

Bolest motornih neurona prati me gotovo kroz cijelu odraslu dob. A ipak me nije spriječila da imam vrlo privlačnu obitelj i uspjeh u poslu. To mogu zahvaliti pomoći žene, djece i velikog broja drugih ljudi i organizacija. Imao sam sreću što mi je bolest napredovala sporije nego obično. To pokazuje da ne treba gubiti nadu.

4

ODNOS JAVNOSTI PREMA ZNANOSTI*

HTJELI - NE HTJELI, svijet u kojem živimo znatno se promijenio u posljednjih sto godina, a vjerojatno će se još jače promijeniti u idućih sto godina. Neki ljudi rado bi zaustavili te promjene, i vratili se u nešto što im se čini kao čišća i jednostavnija vremena. Ali, kako nas svijest uči, prošlost nije bila tako čudesna. Nije bila tako loša za privilegiranu manjinu, iako su se i oni morali snalaziti bez suvremene medicine, a rađanje je bilo vrlo opasno za žene. A velikoj je većini čovječanstva život bio loš, grub i kratak.

Međutim, čak i kad bismo to htjeli, ne bismo mogli

*Govor održan u Oviedu, Španjolska, prigodom primanja Nagrade Princ Asturias za sklad i slogu, listopad 1989. Kasnije je obnovljen i nadopunjen.

vratiti uru u ranija vremena. Znanje i vještine ne mogu se samo tako zaboraviti. Ne možemo spriječiti ni daljnji napredak ubuduće. Čak i kad bi se potpuno ukinulo državno financiranje istraživanja (a sadašnja vlada radi na tome koliko može), sama sila konkurencije ipak bi se pobrinula za napredak tehnologije. Štoviše, ne može se spriječiti radoznale glave da razmišljaju o temeljnim prirodnim znanostima, plaćali ih za to ili ne. Jedini način da se spriječi daljnji razvoj bila bi globalna totalitarna država koja bi sprečavala sve novo, no ljudska domišljatost i inicijativa takve su da ni to ne bi uspjelo. Sve bi to samo usporilo promjene.

Prihvatimo li da ne možemo spriječiti da znanost i tehnologija mijenjaju naš svijet, možemo bar pokušati osigurati da promjene koje izazovu budu u pravom smjeru. U demokratskom društvu to znači da javnost mora posjedovati osnovno razumijevanje prirodnih znanosti, kako bi mogla donositi kvalificirane odluke, a ne ostavljati ih samo u rukama stručnjaka. U ovom trenutku javnost ima o znanosti prilično podvojena stajališta. Počela je očekivati da se nastavi stalan rast životnog standarda do kojega je doveo napredak znanosti i tehnologije, ali je prema znanosti i nepovjerljiva jer je ne razumije. To se nepovjerenje vidi i u karikaturalnom prikazu ludih znanstvenika koji u svojim laboratorijima pokušavaju proizvesti Frankenstein. Ono je i važan element pozadine potpore zelenim strankama. Ali javnost također pokazuje i velik interes za znanost, osobito astronomiju, što se vidi i po velikoj gledanosti televizijskih serija kao što je *Kosmos* i popularnosti znanstvene fantastike.

Što bi se moglo učiniti da taj interes bude koristan i da javnosti dade znanstvenu podlogu koja joj treba da bi mogla donositi mjerodavne odluke o temama poput kiselih kiša, efekta staklenika, nuklearnom oružju i genet-

skom inženjeringu? Jasno, temelj je ono što se uči u školama. Ali u školama se znanost često predstavlja na nezanimljiv način. Djeca je uče mehanički da bi prošla ispite, ali ne vide koliko je važna za svijet u kojem žive. Štoviše, prirodne se znanosti često uče u obliku jednadžbi. Iako su jednadžbe koncizan i točan oblik opisanja matematičkih zamisli, one većinu ljudi zastrašuju. Kad sam nedavno pisao jednu popularnu knjigu, rekli su mi da će svaka jednadžba koju u nju stavim prepoloviti prodaju. Stavio sam samo jednu jednadžbu, Einsteinovu $E=mc^2$; možda bih bez nje prodao dva puta više primjeraka.

Znanstvenici i inženjeri skloni su izražavanju svojih zamisli u jednadžbama, jer moraju znati točne vrijednosti količina. Ali ostalima je dovoljno kvalitativno dohvatiti znanstveni pojam, a to se može prenijeti riječima i dijagramima, bez upotrebe jednadžbi.

Znanost koje se uči u školi može dati osnovni okvir. Ali napredak znanosti sada je tako brz da uvijek ima novih otkrića koja su se dogodila otkad smo bili u školi ili na sveučilištu. O molekularnoj biologiji i tranzistorima nisam učio u školi, a genetički inženjering i računala su dvije novine za koje je najvjerojatnije da će u budućnosti promijeniti naš način života. Knjige i članci u časopisima koji na popularan način govore o znanosti mogu pomoći da se objasne novi pomaci, ali i najuspješniju knjigu pročita samo mali dio pučanstva. Samo televizija dostiže doista masovnu publiku. Ima na televiziji vrlo dobrih znanstvenih emisija, no neke druge prikazuju znanstvena čuda jednostavno kao magiju, bez objašnjenja ili uklapanja u okvir znanstvenih ideja. Producenti televizijskih znanstvenih programa trebali bi shvatiti kako im je dužnost i da odgajaju javnost, a ne samo da je zabavljaju.

O kojim će temama koje se tiču znanosti javnost morati odlučivati u bliskoj budućnosti? Daleko je najhitnija ona o nuklearnom oružju. Ostali svjetski problemi, poput opskrbe hranom ili efekta staklenika relativno su sporijeg djelovanja, no nuklearni rat mogao bi značiti kraj svih ljudskih života na Zemlji u samo nekoliko dana. Popuštanje napetosti između Istoka i Zapada na kraju hladnog rata značilo je da se strah od nuklearnog rata povlači iz ljudske svijesti. Ali opasnost je još uvijek tu, dok god ima dovoljno oružja da se višestruko pobije cijelo svjetsko pučanstvo. U bivšem Sovjetskom Savezu i u Americi nuklearno je oružje još uvijek usmjereno tako da može udariti sve veće gradove nas sjevernoj polulopti. Dovoljna bi bila neka kompjuterska pogreška ili pobuna nekih od ljudi koji rukuju tim oružjem da se pokrene svjetski rat. Još više zabrinjava to što sada relativno manje države nabavljaju nuklearno oružje. Velike su se sile ponašale donekle odgovorno, no ne možemo imati toliko povjerenja u manje države poput Libije, Iraka, Pakistana, pa i Azerbajdžana. Opasnost i nije toliko u samom nuklearnom oružju kakvo bi se uskoro moglo naći u rukama takvih država, jer bi ono bilo prilično primitivno, iako bi ipak moglo pobiti milijune ljudi. Opasnost je u tomu što bi nuklearni rat između dviju malih zemalja mogao uvući i velike sile i njihove goleme nuklearne arsenale.

Vrlo je važno da javnost shvati tu opasnost i da pritisne na sve vlade da pristanu na velika smanjenja oružja. Možda i nije praktično moguće potpuno ukloniti sve nuklearno oružje, no pogibelj možemo smanjiti tako što ćemo mu smanjiti broj.

Uspijemo li izbjeći nuklearni rat, još uvijek ima opasnosti koje nas sve mogu uništiti. Postoji crni vic da je razlog zašto nam se još nije javila neka izvanzemaljska

civilizacija u tome što su sve civilizacije koje dođu do našeg stupnja razvoja sklone same sebe uništiti. Ali ja imam dovoljno vjere u zdrav razum javnosti da vjerujem kako bismo mogli dokazati da to nije točno.

KRATKA POVIJEST *KRATKE* *POVIJESTI**

Još ME UVIJEK ČUDI kakav je prijem doživjela moja knjiga *Kratka povijest vremena*. Na listi uspješnica *New York Timesa* već je trideset i sedam tjedana, a na listi *The Sunday Timesa* već dvadeset i osam tjedana. Prevodi se na dvadeset jezika (dvadeset i jedan, računate li američki kao poseban jezik). To je znatno više od mojih očekivanja kada mi je 1982. prvi put pala na pamet ideja da bih mogao napisati popularnu knjigu o svemiru. Namjera mi je dijelom bila da njome zaradim novac za ško-

*Esej prvi put objavljen kao članak u *The Independent* u prosincu 1988. Knjiga *Kratka povijest vremena* bila je 43 tjedna na *New York Times* listi najprodavanijih knjiga; na listi londonskog *Sunday Timesa* bila je do veljače 1993. godine 205 tjedana uzastopno. Nakon 184. tjedna ušla je u *Ginness knjigu rekorda* za najveći broj tjedana na toj listi. Knjiga je prevedena na 34 jezika.

lovanje svoje kćeri. (Zapravo je, u vrijeme kada se knjiga doista pojavila, ona već bila na završnoj godini.) Ali glavni je razlog bio da objasnim dokle smo stigli u proučavanju svemira; koliko bismo blizu mogli biti utemeljenju potpune teorije koja bi opisala svemir i sve u njemu.

Kad sam već odlučio potrošiti toliko vremena i napora da napišem knjigu, htio sam da dođe do što većeg broja ljudi. Moje je prethodne knjige objavila kuća *Cam-bridge University Press*. Taj nakladnik dobro je radio, ali nekako mi se nije činilo da je spreman suočiti se s masovnim tržištem koje sam želio dohvatiti. Zato sam se javio književnom agentu Alu Zuckermanu koga sam upoznao kao šogora nekoga kolege. Dao sam mu nacrt prvoga poglavlja i objasnio kako želim da to bude jedna od onih knjiga koje se prodaju po zračnim lukama. Rekao mi je da za to nema nikakve nade. Knjiga bi se mogla dobro prodavati sveučilišnim nastavnicima i studentima, ali knjiga poput takve ne bi se mogla probiti u teritorij koji drži Jeffrey Archer.

Prvi nacrt knjige dao sam Zuckermanu 1984. Poslao ga je nekolicini nakladnika i preporučio mi da prihvatim ponudu Nortona, prilično elitne američke nakladničke kuće. No ja sam odlučio prihvatiti ponudu Bantam Bo-oks, nakladnika koji je više orijentiran na masovno tržište. Iako Bantam nije specijaliziran za objavljivanje znanstvenih knjiga, njihove se knjige mogu naći na mnogim aerodromskim knjižarskim kioscima. To što su prihvatili moju knjigu vjerojatno je zbog interesa koji je za nju pokazao jedan od njihovih urednika, Peter Guzzardi. Posao je shvatio vrlo ozbiljno i natjerao me da knjigu iznova napišem i učinim razumljivom i onima koji, poput njega, nisu znanstvenici. Svaki put kad bih mu poslao popravljeno poglavlje, on bi mi odgovorio dugim popisom primjedaba i pitanja koja bi tražio da razjasnim. Znao sam

pomisliti da taj proces nikad neće završiti. Ali bio je u pravu: to je dovelo do znatno bolje knjige.

Uskoro nakon što sam prihvatio Bantamovu ponudu dobio sam upalu pluća. Morao sam se podvrći traheotomiji koja mi je oduzela glas. Neko sam vrijeme mogao komunicirati samo tako što sam podizao obrve kad bi mi netko na karti pokazivao slova. Bilo bi nemoguće završiti tu knjigu da nije bilo kompjuterskog programa koji sam dobio. Bio je malo polagan, ali i ja mislim polako, pa mi je prilično dobro odgovarao. Uz pomoć tog programa gotovo sam potpuno iznova napisao prvu verziju u skladu s Guzzardijevim zahtjevima. Pri toj mi je reviziji pomogao jedan od mojih učenika, Brian Whitt.

Dubok je na mene dojam bila u to vrijeme ostavila televizijska serija Jacoba Bronowskog *Uspon čovjeka*. Davala je dojam o postignućima ljudskoga roda u razvoju od primitivnih divljaka prije samo petnaest tisuća godina do našega sadašnjeg stanja. Htio sam prenijeti sličan dojam o našem napretku prema potpunom razumijevanju zakona koji upravljaju svijetom. Bio sam siguran da gotovo svakoga zanima kako radi svemir, no većina ljudi ne razumije matematičke jednadžbe — ni meni samome jednadžbe nisu baš drage. Djelomice je to zato, jer mi ih je teško pisati, no najviše zato što nemam intuitivan osjećaj za jednadžbe. Ja umjesto toga mislim slikovito, a cilj te knjige za mene je bio da opišem te zamišljene slike riječima, uz pomoć prepoznatljivih analogija i nekoliko dijagrama. Nadao sam se da će tako većina ljudi moći sa mnom podijeliti ushit i dojam o postignuću vrijednoga napretka koji je u fizici postignut u posljednjih dvadeset i pet godina.

Ipak, čak i uspijete li izbjeći matematiku, neki pojmovi nisu bliski i teško ih je objasniti. To je postavilo problem: trebam li pokušati to objasniti i prihvatiti opas-

nost da će se ljudi zbuniti, ili bih preko poteškoća trebao samo preletjeti? Neke neobičnije pojmove, poput onoga da promatrači koji se kreću različitim brzinama mjere različite vremenske razmake između istoga para događaja, nisu ni bili nužni za sliku koju sam htio nacrtati. Imao sam dakle dojam da bih ih jednostavno mogao spomenuti, ne ulazeći u dublje pojedinosti. Ali neki su drugi teži pojmovi bili jako važni za ono na što sam htio doći. Bile su pogotovo dvije takve zamisli za koje sam mislio da ih moram uključiti. Jedan je bio takozvani zbroj po prikazima. To je zamisao da nema nečega što bi bio jedini prikaz svemira. Umjesto toga postoji zbirka svih mogućih prikaza, svih povijesti svemira, a sve su te povijesti jednako stvarne (što god to značilo). Druga zamisao, koja je nužna za matematičko shvaćanje toga zbroja po prikazima je "imaginarno vrijeme". Kad se na to osvrnem, sad mi se čini da sam se morao više potruditi oko objašnjavanja tih vrlo teških pojmova, pogotovo imaginarnog vremena, za koje se čini da je od svega u knjizi . ono oko čega su ljudi imali najviše teškoća. Međutim, nije doista nužno točno shvatiti što je to imaginarno vrijeme — dovoljno je shvatiti da je ono različito od onoga što zovemo realnim vremenom.

Kad se približilo vrijeme objavljivanja knjige, jedan znanstvenik kojem je unaprijed poslan primjerak knjige radi recenzije u časopisu *Nature*, zgrozio se našavši da je puna pogrešaka, s pogrešno smještenim i nasumce potpisanim fotografijama i dijagramima. Nazvao je Bantam, gdje su se jednako zgrozili i odlučili da istoga dana obustave tisak. Tri su tjedna napeto korigirali i iznova provjeravali cijelu knjigu, koja je završena na vrijeme da se pojavi na knjižarskim policama na najavljeni dan izlaska u travnju. U to je vrijeme tjednik *Time* upravo objavio prikaz o meni. Usprkos tome, nakladnike je iznenadilo

kolika je potražnja nastala. Knjiga se sada u Americi tiska sedamnaesti put, a deseti put u Britaniji.*

Zašto ju je kupilo tako mnogo ljudi? Teško mi je biti siguran da sam objektivan, pa ću zato ići za onim što ljudi kažu. Većina prikaza učinila mi se, iako su uglavnom povoljni, prilično neinformativnima. Uglavnom su slijedili formulu: Stephen Hawking ima bolest Loua Gehriga (u američkim prikazima) ili bolest motornih neurona (u britanskim prikazima). Osuđen je na invalidska kolica, ne može govoriti i može pokretati samo x prstiju (pri čemu je x, čini se, u rasponu od jedan do tri, ovisno o kojem je netočnom članku kritičar čitao o meni). A ipak je napisao tu knjigu o najvećem od svih pitanja: Odakle dolazimo i kamo idemo? Odgovor koji Hawking predlaže jest da svemir nije ni stvoren niti će se uništiti. On jednostavno *jest*. Kako bi uobličio tu ideju, Hawking uvodi zamisao o imaginarnom vremenu koji se meni (kritičaru) čini malo pretežak da bih ga shvatio. Ali, ako je Hawking u pravu, i dođemo li do cjelovite i jedinstvene teorije, doista ćemo znati Božji um. (U fazi korekture gotovo sam izbacio posljednju rečenicu knjige, koja glasi da ćemo spoznati Božji um. Da sam to učinio, prodaja knjige valjda bi se prepolovila.)

Dosta pronicaviji bio je (kako mi se činilo) članak u *The Independentu*, londonskim novinama, koji je rekao da čak i ozbiljna knjiga poput *Kratke povijesti vremena* može postati kulturnom knjigom. Moju je ženu zgrozilo, no meni je prilično laskalo što mi knjigu uspoređuju s knjigom *Zen i umijeće održavanja motocikla*. Nadam se da ona, poput *Zena* daje ljudima dojam da ne moraju biti isključeni iz velikih intelektualnih i filozofskih pitanja.

Nesumnjivo, pomogla je i ljudska priča o tome kako

*Do travnja 1993. tiskano je ukupno 40 tvrdih i 19 mekih izdanja u SAD, te 39 tvrdih izdanja u Velikoj Britaniji.

sam unatoč svojoj invalidnosti uspio biti teorijskim fizičarom. Ali oni koji su knjigu kupili zbog zanimanja za ljudsku priču vjerojatno su se razočarali, jer se u njoj moje stanje spominje samo nekoliko puta. Ta je knjiga zamišljena kao pripovijest o svemiru, a ne o meni. Ovo nije spriječilo optužbe da je Bantam sramotno iskoristio moju bolest i da sam ja pri tome sudjelovao, dopustivši da se na koricama pojavi moja slika. Uspio sam, međutim, uvjeriti Bantam da se za britansko izdanje posluže boljom fotografijom no što je ona bijedna i prastara slika s američkih korica. Međutim, Bantam neće mijenjati američku naslovnicu, jer kažu da američko čitateljstvo sada identificira knjigu s njom.

Također se govorilo da ljudi kupuju knjigu, jer su pročitali prikaze o njoj ili zato što je na listi bestselera, ali je ne čitaju, nego samo drže na policama ili na klupskom stoliću, kako bi se vidjelo da je imaju, a ne moraju se potruditi da je i razumiju. Siguran sam da ima i toga, ali ne čini mi se da se to na nju odnosi imalo više nego na većinu drugih ozbiljnih knjiga, pa i Bibliju i Shake-spearea. S druge strane, znam da ju je moralo pročitati bar nešto ljudi, jer svaki dan dobijem brdo pisama o knjizi, a u mnogima su pitanja ili detaljni komentari koji ukazuju na to da su je čitali, čak i ako nisu sve razumjeli. Također me i na ulici zaustavljaju neznanci koji mi pričaju kako su u njoj uživali. Naravno, lako me prepoznati i jače se ističem, ako već nisam istaknutiji, od mnogih drugih pisaca. Ali učestalost s kojom primam takve javne čestitke (praćene velikom nelagodnom moga devetogodišnjeg sina), čini se da pokazuje kako bar dio kupaca moju knjigu doista i čita.

Neki me sada pitaju što ću dalje. Čini mi se da ne bih mogao napisati nastavak *Kratke povijesti vremena*. Kako bih ga nazvao? *Duža povijest vremena*? *Poslije kra-*

ja vremena? Sin Vremena? Moj mi je agent predložio da dopustim da se o mom životu snimi film. Ali ni meni ni mojoj obitelji ne bi više ostalo nimalo samopoštovanja kad bismo si dopustili da nas igraju glumci. Donekle bi slično, ali u manjoj mjeri, tako bilo kad bih nekome pomogao da napiše moju biografiju. Naravno, ne mogu nikoga spriječiti da samostalno napiše moj životopis, dok god nije klevetnički, ali nastojim ih odbiti tako što kažem da razmišljam o tome da sam napišem svoju autobiografiju. Možda to i učinim. Ali ne žuri mi se. Mnogo je znanstvenog rada koji bih rado obavio prije toga.

MOJE STANOVIŠTE*

OVAJ ČLANAK NIJE o tome vjerujem li ja u Boga. Umjesto toga, izložit ću moje viđenje o tome kako se može shvatiti svemir: kakav je status i značenje velike jedinstvene teorije, "teorije svega". Tu postoji stvarni problem. Ljudi koji bi trebali proučavati i raspravljati takva pitanja, filozofi, obično nemaju dovoljno matematičke naobrazbe da bi držali korak sa suvremenim razvojem teorijske fizike. Postoji podvrsta zvana filozofi znanosti, koji bi trebali biti bolje obrazovani. No mnogi od njih su neuspjeli fizičari koji ustanoviše da im je preteško poraditi na novim teorijama pa su se tako umjesto toga bacili na pisanje o filozofiji fizike. Oni i dalje raspravljaju o

*Predavanje izvorno održano u svibnju 1992. na učilištu Caius.

znanstvenim teorijama ranih godina ovoga stoljeća, poput relativnosti i kvantne mehanike. Nisu u dodiru sa sadašnjom prvom crtom napredovanja fizike.

Možda sam malko pregrub glede filozofa, ali baš ni oni nisu bili jako ljubazni prema meni. Moj pristup je bio opisan kao naivan i prostodušan. Bijah nazivan raznim imenima, poput nominalist, instrumentalist, pozitivist i više drugih —*ist.* Tehnika je, čini se, bila pobijanje putem etiketiranja: ako mome stanovištu nalijepite neku etiketu, ne trebati ni objašnjavati što s njim nije u redu. Siguran sam da svatko pozna kobne pogreške svih tih *izama*.

Ljudi koji stvarno nešto pridonose razvoju teorijske fizike uopće ne razmišljaju u kategorijama što ih kasnije za njih smišljaju filozofi i povjesničari znanosti. Siguran sam da Einstein, Heisenberg i Dirac nisu vodili brigu o tome jesu li bili realisti ili instrumentalisti. Oni su jednostavno bili zabrinuti time što se postojeće teorije nisu međusobno uklapale. U teorijskoj je fizici u cilju postizanja napretka uvijek bilo važnije traženje logičke samostojnosti negoli eksperimentalni rezultati. Mnoge elegantne i lijepe teorije bijahu odbačene, jer se nisu slagale s promatračkim podacima, a ne znam ni za jednu važnu teoriju u kojoj je učinjen napredak tek zahvaljujući pokusu. Teorija dolazi uvijek prva, vučena naprijed težnjom za posjedovanjem elegantnog i dosljednog matematičkog modela. Teorija tada donosi predviđanja koja se mogu promatranjem provjeriti. Ako se promatranja slažu s predviđanjima, to ne dokazuje teoriju, ali teorija preživljava kušnju da bi donijela sljedeća predviđanja, koja se opet provjeravaju opetovanim promatranjem. Ukoliko se promatranja ne slažu s predviđanjima, teorija se napušta.

Zapravo, očekujemo da se stvari tako odvijaju. U praksi, ljudi vrlo nerado odustaju od teorije u koju su

uložili mnogo truda i vremena. Obično se počnu propitkivati o točnosti promatranja. Ako im ni to ne pomaže, trude se preinačiti teoriju na ad hoc način. Na kraju teorija postaje neugledno i ruševno zdanje. Tada netko predloži novu teoriju u kojoj su sva neugodna promatranja objašnjena na elegantan i prirodan način. Primjer za to je Michelson-Morleyev pokus, izveden 1887., koji je pokazivao uvijek istu brzinu svjetlosti, bez obzira kako su se izvor ili promatrač gibali. To se činilo smiješnim. Sigurno bi netko tko se giba prema svjetlosti trebao izmjeriti njenu veću brzinu negoli netko tko se giba od nje; međutim, pokus je pokazivao da bi oba promatrača izmjerila posve istu brzinu svjetlosti. Tijekom sljedećih osamnaest godina pokušavaše ljudi poput Hendrika Lorentza i Georgea Fitzgeralda smjestiti ovo promatranje unutar prihvaćenih zamisli o prostoru i vremenu. Uveli su ad hoc postulate, poput predlaganja da predmeti pri gibanju velikim brzinama postaju kraći. Čitava zgrada fizike poružnila se i počela škripati. Tada je — 1905. — Einstein predložio mnogo privlačnije gledište, u kojem vrijeme nije bilo uzimano kao posve izdvojeno i samo za sebe. Umjesto toga, bilo je s prostorom sjedinjeno u četrimerodimenzionu tvorbu zvanu prostorvrijeme. Einsteina na ovu zamisao nisu toliko mnogo tjeroali rezultati pokusa koliko želja da dva dijela teorije spoji zajedno u dosljednu cjelinu. Ta dva dijela bijahu zakoni po kojima se ponašaju električna i magnetska polja te zakoni po kojima se ponašaju tijela u gibanju.

Ne mislim da je Einstein, ili bilo tko drugi 1905., uvidio koliko je nova teorija relativnosti bila jednostavna i elegantna. Ona je posve izokrenula naše poimanje prostora i vremena. Ovaj primjer dobro oslikava poteškoću položaja nekoga tko je realist u fizici znanosti, jer ono što gledamo kao stvarnost uvjetovano je teorijom koju

potpisujemo. Siguran sam da su Lorentz i Fitzgerald sebe smatrali realistima, tumačeći pokus o brzini svjetlosti pomoću Newtonovih pojmova apsolutnog prostora i apsolutnog vremena. Činilo se da su ti pojmovi prostora i vremena u skladu sa zdravim razumom i stvarnošću. Danas pak, oni koji su dobro upoznati s teorijom relativnosti, još žalosno manjina, imaju na to posve drukčiji pogled. Morali bismo reći ljudima kakvo je suvremeno razumijevanje tako temeljnih pojmova kakvi su prostor i vrijeme.

Ukoliko ono što smatramo stvarnim zavisi od naše teorije, kako onda možemo od stvarnost praviti temelj naše filozofije? Rekao bih da sam realista u smislu da mišlim kako tamo vani postoji neki svemir, čekajući da ga istražimo i razumijemo. Gledište solipsista, da je sve stvoreno u našoj mašti, smatram gubitkom vremena. Ništa se ne postiže na taj način. Ali bez neke teorije, ne možemo razlučiti što je stvarno glede svemira. Stoga sam zauzeo stanovište, koje se bilo opisivalo kao prosto-dušno i naivno, da je neka fizikalna teorija tek matematički model kojeg rabimo pri opisu rezultata promatranja. Neka teorija je dobra teorija ako je lijep model, ako opisuje široki raspon promatranja te ako pretkazuje rezultate budućih promatranja. Izvan toga, nema smisla pitati odgovara li ona stvarnosti, jer mi ne znamo kakva je stvarnost neovisna od teorije. Takvo gledište o znanstvenim teorijama može imati i neki instrumentalist ili pozitivist — a kako sam rekao ranije, meni su priljepljeni ti nazivi. Osoba koja me nazvala pozitivistom smatrala je za shodno još dodati kako svatko danas zna da je pozitivizam zastario — opet slučaj pobijanja putem etiketiranja. To dakako može biti zastarjelo, u smislu nečeg što je bilo dojučerašnja intelektualna zabava, ali pozitivističko stajalište što sam ga bio izložio čini se jedino moguće za nekog tko traži nove zakone i nove načine za opisivanje

svemira. Nije dobro pozivanje na stvarnost, budući da nemamo neki uzoran neovisan pojam stvarnosti.

Po mome mišljenju, neizrečeno vjerovanje u neku uzornu nezavisnu stvarnost je nevidljivi uzrok poteškoća što ih glede kvantne mehanike i načela neodređenosti imaju filozofi znanosti. Uzmimo slavni misaoni pokus zvan Schrodingerova mačka. Jedna se mačka nalazi u zapečaćenoj kutiji. U nju je uperena neka pucaljka, koja okida ako se raspadne neka radioaktivna jezgra. Vjerojatnost okidanja pucaljke iznosi pedeset posto. (Danas se nitko više ne bi usudio predložiti takvu stvar, čak i kao čisti misaoni pokus, ali u Schrodingerovo vrijeme nisu znali za pokret za zaštitu životinja.)

Kad se otvori kutija, ustanovit će se je li mačka živa ili mrtva. Ali prije negoli se kutija otvori, kvantno stanje mačke bit će mješavina stanja mrtve mačke i stanja u kojem je mačka živa. To je za neke filozofe teško prihvatljiva slika. Mačka ne može biti napola ubijena, a napola neubijena, izjavljuju oni, kao što žena ne može biti napola trudna. Poteškoća za njih se javlja stoga što oni, kao samo po sebi razumljivo, upotrebljavaju klasični pojam stvarnosti u kojem neki predmet posjeduje jedan određeni, jedini prikaz. Čitava zamisao kvantne mehanike i jest u tome da ona ima drugačiji nazor o stvarnosti. Po tom nazoru, neki predmet ne iskazuje se u jednom jedinom prikazu već u svim mogućim prikazima. U najvećem broju slučajeva, vjerojatnost posjedovanja nekog određenog prikaza poništava se s vjerojatnošću posjedovanja vrlo neznatno drugačije prikaza; ali u nekim slučajevima, vjerojatnosti susjednih prikaza pojačavaju jedni druge (kao pri interferenciji valova.) Ono što promatramo kao prikaz tog predmeta jedan je od tih pojačanih prikaza.

U slučaju Schrodingerove mačke, postoje dva prikaza koja su pojačana. U jednome je mačka ubijena, dok u

drugome ostaje živa. U kvantnoj teoriji mogu obje mogućnosti postojati zajedno. Ali neke filozofe to dovodi u veliku nepriliku, jer oni kao nešto što se samo po sebi podrazumijeva uzimaju da mačka može imati samo jedan prikaz.

Priroda vremena je drugi primjer područja gdje fizikalne teorije određuju naš pojam stvarnosti. Uobičajilo se smatrati očitim da vrijeme zauvijek teče, bez obzira što se događalo; ali teorija relativnosti je spojila vrijeme s prostorom i rekla da oba mogu biti iskrivljena, izobličena, materijom i energijom svemira. Tako se naše poimanje naravi vremena promijenilo: ranije je vrijeme bilo nezavisno od svemira, sad je oblikovano njime. Tako je postalo razumljivo da se vrijeme uopće ne može odrediti prije određene točke; idemo li unatrag kroz vrijeme, mogli bismo doći do nepremostive prepreke, singularnosti, iza koje se dalje ne može ići. Ako bi to bio slučaj, ne bi imalo smisla pitati se tko, ili što, je uzrokovalo ili proizvelo Veliki prasak. Ako govorimo o uzrokovanju ili stvaranju, samo po sebi se podrazumijeva da je postojalo neko vrijeme prije singularnosti Velikog praska. Već nam je tridesetak godina poznato kako Einsteinova teorija relativnosti pretkazuje da je vrijeme moralo imati neki početak prije petnaestak milijardi godina. Ali filozofi nisu to prihvatili. Oni su još zabrinuti o temeljima kvantne mehanike koji su položeni prije gotovo sedamdeset godina. Ne shvaćaju da su se granice fizike u međuvremenu pomaknule.

Još gore je s matematičkim pojmom imaginarnog vremena, u kojem smo Jim Hartle i ja predložili da svemir nema ni početka ni kraja. Zbog tog imaginarnog vremena bijesno me je napao jedan filozof. Rekao je: Kako može neki matematički trik poput imaginarnog vremena imati išta sa stvarnim svemirom? Mislim da je taj

filozof pobrkao čisto matematičke veličine zvane realni i imaginarni brojevi s načinom na koji se u svakidašnjem jeziku rabe pojmovi realno i imaginarno. Ovo upravo ilustrira moje stanovište: Kako možemo znati što je stvarno, neovisno o teoriji ili modelu s pomoću kojeg to tumačimo?

Upotrijebio sam primjere iz relativnosti i kvantne mehanike da bih pokazao probleme s kojima se netko suočava kad nastoji osmisliti svemir. Nije zaista važno razumijete li ili ne razumijete relativnost i kvantnu mehaniku, ili čak ako su obje te teorije netočne. Ono što se nadam da sam pokazao jest da je neka vrsta pozitivističkog pristupa, u kojoj se na teoriju gleda kao na model, jedini način razumijevanja svemira, barem za teorijskog fizičara. Pun sam nade da ćemo naći čvrsti model koji opisuje sve u svemiru. Učinimo li to, bit će to zaista blistavi uspjeh ljudske vrste.

JE LI NA POMOLU KRAJ TEORIJSKE FIZIKE?*

NA OVIM STRANICAMA želim razmotriti mogućnosti dostizanja cilja teorijske fizike u ne tako dalekoj budućnosti: recimo pri kraju stoljeća. Pod tim podrazumijevam neku potpunu, dosljednu i jedinstvenu teoriju fizičkih međudjelovanja, koja bi teorija opisivala sva moguća promatranja. Dakako, kad se daju takva predviđanja treba biti vrlo oprezan. Već smo najmanje dvaput bili pomislili da smo se našli na pragu konačne sinteze. Početkom ovog stoljeća vjerovalo se da se sve može razumjeti pomoću mehanike kontinuuma. Sve što je bilo potrebno bilo je izmjeriti neke brojeve, koeficijente elastičnosti, vis-

*29. travnja 1980. dobio sam katedru matematike na Cambrid-geu. Ovaj esej, kao inauguracijsko predavanje, pročitao je u moje ime jedan od mojih studenata.

koznosti, vodljivosti i tako dalje. Ova je nada zasjenjena otkrićem građe atoma i kvantnom mehanikom. Zatim, kasnijih dvadesetih godina ovoga stoljeća, Max Born je skupini znanstvenika u posjetu Gottingenu bio rekao da "je s fizikom kakvu poznamo za šest mjeseci gotovo." To je rečeno kratko nakon otkrića Diracove jednačbe, Paula Diraca, ranijeg nositelja ove iste katedre. Diracova jednačba upravlja ponašanjem elektrona. Bilo se očekivalo da će neka slična jednačba upravljati protonom, jedinom drugom, navodno elementarnom, česticom poznatom u to doba. Međutim, otkriće neutrona i nuklearnih sila izdalo je te nade. Mi zapravo danas znamo da ni proton ni neutron nisu elementarni već da su građeni od još sitnijih čestica. Ipak, velik je napredak postignut tijekom posljednjih godina, i kao što ću opisati ovdje, postoje neki temelji za oprezni optimizam da će se možda ugledati neka potpuna teorija još unutar životnoga vijeka nekih od onih koji čitaju ove stranice.

Čak i ako dosegne potpunu jedinstvenu teoriju, nećemo moći donositi detaljna predviđanja, osim u nekim najjednostavnijim situacijama. Na primjer, nama su već sada poznati fizikalni zakoni koji upravljaju svim iskustvenim događanjima svakodnevnoga života. Kako je Dirac naglasio, njegova jednačba je temelj "većine fizike i cjelokupne kemije". Pa ipak, u stanju smo riješiti tu jednačbu samo za najjednostavniji od jednostavnih slučajeva, za vodikov atom koji se sastoji od protona i elektrona. Za složenije atome s više elektrona, a da i ne spominjemo molekule, prisiljeni smo pribjeći aproksimacijama i intuitivnim procjenama sumnjive vrijednosti. Za makroskopske sustave sastavljene od 10^{23} ili slično čestica, moramo upotrijebiti statističke metode i napustiti svaku nadu u točno rješenje tih jednačbi. Premda su nam načelno poznate jednačbe koje upravljaju cjelokup-

nom biologijom, nismo nipošto u stanju svesti proučavanje ljudskog ponašanja na primijenjenu matematiku.

Što bismo podrazumijevali pod imenom neke potpune i jedinstvene teorije fizike? Naša nastojanja pri izradbi modela fizičke stvarnosti obično se sastoje iz dva dijela:

1. Od nekog skupa područnih zakona kojima se pokoravaju razne fizičke veličine. Ti su zakoni obično izražavaju u obliku diferencijalnih jednačbi.
2. Od skupova graničnih uvjeta koji nam izriču stanje nekih područja svemira u nekom vremenu i koji se učinci kasnije šire u njih iz ostatka svemira.

Mnogi bi ljudi rekli da je uloga znanosti ograničena na prvo od gore navedenoga te da će teorijska fizika postići svoj cilj kad dobije potpuni skup područnih fizikalnih zakona. Oni smatraju da pitanje graničnih, početnih uvjeta spada u područje metafizike ili religije. Na neki način, takav stav je sličan stavu onih koji su u ranijim stoljećima obeshrabrivali znanstvena istraživanja govoreći kako su sve prirodne pojave božje djelo i ne bi ih se smjelo preispitivati. Mislím da su početni uvjeti svemira jednako tako prikladan predmet znanstvenog proučavanja i teorija, kao što su i područni fizikalni zakoni. Nećemo imati potpunu teoriju prije nego li učinimo više od pukog izriječka da "su stvari kakve jesu, jer su bile kakve su bile."

Pitanje osobitosti početnih uvjeta u uskoj je svezi s pitanjem proizvoljnosti područnih fizikalnih zakona: Neka se teorija ne bi mogla smatrati za potpunu ako bi sadržavala izvjestan broj podesivih parametara, poput masa ili konstanti vezanja, kojima bi se mogle pridodati po volji bilo koje vrijednosti. U stvari, čini se da ni početni

uvjeti ni vrijednosti parametara u teoriji nisu proizvoljni već su nekako vrlo pažljivo odabrani ili izvađeni. Na primjer, kad razlika u masama protona i neutrona ne bi bila otprilike dvije mase elektrona, ne bi se moglo održati na okupu stotinu i više stabilnih čestica koje grade elemente i koji su osnova kemije i biologije. Slično tome, kad bi gravitacijska masa protona bila neznatno drukčija, ne bi bilo zvijezda u koje bi se te čestice mogle ugraditi, a kad bi početno širenje svemira bilo samo malo sporije ili samo malo brže, svemir bi ili doživio kolaps prije nego bi se takve zvijezde razvile ili bi se širio tako brzo da se zvijezde nikad ne bi ni stigle oblikovati postupkom gravitacijskog zgušnjavanja.

Dakako, neki su ljudi otišli tako daleko da su ova ograničenja, što se postavljaju na početne uvjete, uzdigli u status načela, tako zvanog antropskog načela koje se može parafrazirati kao: "Stvari jesu kakve jesu, budući da smo mi tu." Prema jednom shvaćanju tog načela, postoji vrlo velik broj raznih, odvojenih svemira s različitim vrijednostima fizikalnih parametara i različitim početnim uvjetima. Većina tih svemira neće osiguravati prave uvjete za razvoj tako složenih ustroja kakav je inteligentan život. Samo će u jednom malom broju njih, s uvjetima i parametrima poput ovih u našem svemiru, inteligentnom životu biti moguć razvoj sve do pitanja "zašto je svemir takav kakvog promatramo?" Odgovor je, dakako: kad bi bio drukčiji, ne bi bilo nikoga tko bi postavljao to pitanje.

Antropsko načelo nudi neku vrstu objašnjenja za mnoge spomena vrijedne brojčane odnose što su ustanovljene među vrijednostima raznih fizikalnih parametara. Međutim, to nije potpuno zadovoljavajuće; ne možemo se oteti dojmu da tu postoji neko dublje objašnjenje. Također, to ne može objasniti sva područja svemira. Na pri-

mjer, naš Sunčev sustav sigurno je preduvjet za naše postojanje, kao što je to i neka ranija generacija bližih zvijezda u kojima nuklearnom sintezom bijahu proizvedeni teški elementi našeg tijela. Moguće je čak da je za naše postojanje bila potreba i čitava Galaktika. Ali ne izgleda nam očitom neka potreba za postojanjem drugih galaktika, a kamoli milijuna milijuna njih otprilike ravnomjerno raspoređenih diljem promatranog svemira. Vrlo je teško povjerovati da je takva građa svemira, ta njegova homogenost najvećih razmjera, određena nečim tako perifernim kakve su tamo neke složene molekularne tvorbe na malenom planetu, uz vrlo prosječnu zvijezdu na rubu jedne posve tipične, ni po čemu istaknute, spiralne galaksije.

Ukoliko nas ne privlači antropsko načelo, treba nam neka jedinstvena teorija za obrazloženje početnih uvjeta svemira i za vrijednosti raznih fizikalnih parametara. Ipak, preteško je osmisliti potpunu teoriju samo jednim potezom pera (premda, čini se, to ljude ne zaustavlja; stižu mi poštom dvije do tri jedinstvene teorije tjedno). Umjesto toga, tragamo za djelomičnim teorijama koje će opisati takve situacije u kojima se neka međudjelovanja mogu zanemariti ili im pridodati neku jednostavno izračunljivu približnu vrijednost. Prvo dijelimo tvorni sadržaj svemira na dva dijela: "materiju" (čestice poput kvarkova, elektrona, miona itd.) i "međudjelovanja" (poput gravitacije, elektromagnetizma itd). Materijalne čestice su opisane poljima s polovičnim spinom i pokoravaju se Paulijevom načelu isključenja, koji sprečava da se u nekom stanju nađe više od jedne čestice te vrste. Zbog tog razloga mogu postojati čvrsta tijela, umjesto da se u uruše u točku ili se izrače do beskonačnosti. Materijalna počela podijeljena su u dvije skupine: hadrone, koji su građeni od kvarkova; i leptone koji čine ostatak.

Međudjelovanja dijelimo po njihovom pojavnom obliku na četiri vrste. Redosljedom snage, to su: jake nuklearne sile, koje međudjeluju samo s hadronima; elektro-magnetizam koji međudjeluje s nabijenim hadronima i leptonima; slabe nuklearne sile koje međudjeluju sa svim hadronima i leptonima; i na kraju, daleko najslabija od svih, gravitacija, koja međudjeluje sa svima. Međudjelovanja su predstavljena poljima cjelobrojnog spina, koja se ne pokoravaju Paulijevom načelu isključenja. To znači da u istome stanju mogu imati mnogo čestica. Kod elektro-magnetizma i gravitacije, međudjelovanja su također i dugog doseg, što znači da se polja što ih proizvodi velik broj materijalnih čestica mogu sva zbrajati i proizvesti neko polje zamjetljivo i na makroskopskom planu. Zbog tog razloga, ta su polja bila prva za koja su bile razvijene teorije: Newton gravitaciju u sedamnaestom stoljeću, a Maxwell elektromagnetizam u devetnaestom stoljeću. Međutim, ove su teorije u svojim temeljima bile nespojive, jer je Newtonova teorija bila neizmijenjena ukoliko bi cijelom sustavu bila pridodana bilo koja jednolika brzina, dok je Maxwellova teorija određivala jednu odabranu brzinu — brzinu svjetlosti. Na kraju, ustanovilo se da Newtonovu teoriju treba izmijeniti tako da postane spojiva sa svojstvima Maxwellove teorije. To se postiglo Einsteinovom općom teorijom relativnosti, oblikovanom 1915.

Opća relativistička teorija gravitacije i Maxwellova teorija elektrodinamike bile su ono što je nazvano klasične teorije; u tom smislu da su uključivale veličine koje su neprekidno promjenjive i koje bi se mogle, barem u načelu, izmjeriti proizvoljnom točnošću. Međutim, kad se takve teorije pokušalo primijeniti pri gradnji modela atoma, pojavio se problem. Otkriveno je da se atom sastoji od male, pozitivno nabijene jezgre okružene oblakom negativno nabijenih elektrona. Prirodna pretpostavka je bi-

la da su elektroni na stazi oko jezgre, slično kao što je Zemlja na stazi oko Sunca. Ali klasična je teorija predviđala da elektroni emitiraju elektromagnetske valove. Ti bi valovi odnosili sa sobom energiju pa bi se elektroni spiralno postepeno približavali jezgri sve dok cijeli atom ne bi kolapsirao, urušio se u sebe.

Problem je riješen na način koji je nesumnjivo najveće postignuće teorijske fizike ovog stoljeća: utemeljenjem kvantne teorije. Njen temeljni postulat je Heisenbergovo načelo neodređenosti, koji izriče da se određeni parovi veličina, poput položaja i momenta čestice, ne mogu istodobno mjeriti s po volji velikom točnošću. U slučaju atoma, to znači da elektron u stanju njegove najniže energije ne bi mogao biti u stanju mirovanja pri jezgri, jer bi u tome slučaju bio točno određen njegov položaj (jezgra) i njegova brzina (nula). Umjesto toga, i položaj i brzina trebale bi biti razmazane oko jezgre prema nekoj raspodjeli vjerojatnosti. U tom stanju, elektron ne bi mogao zračiti energiju u obliku elektromagnetskih valova, jer za njega ne bi postojalo stanje niže energije na koje bi mogao sići.

Dvadesetih i tridesetih godina kvantna mehanika se s velikim uspjehom primjenjivala na sustave poput atoma ili molekula, koji imaju samo neki konačni broj stupnjeva slobode. Poteškoće su se, međutim, pojavile kad se tu teoriju pokušalo primijeniti na elektromagnetsko polje koje ima beskonačan broj stupnjeva slobode, grubo govoreći dva za svaku točku prostorvremena. Ove stupnjeve slobode možemo shvatiti kao oscilatore, svaki sa svojih vlastitim položajem i momentom. Ti oscilatori ne mogu biti u mirovanju, jer bi tada imali točno određene položaje i momente. Umjesto toga, svaki oscilator mora imati neki minimalni iznos onog što se zove fluktuacije nulte točke i ne-nulta energija. Energije ukupnog beskonač-

nog broja stupnjeva slobode prouzročile bi da prividna masa i naboj elektrona postanu beskonačni.

U cilju prevladavanja te poteškoće, razvijen je krajem četrdesetih godina postupak zvan renormalizacija. On se sastojao u prilično proizvoljnom oduzimanju nekih beskonačnih veličina tako da dobijemo konačne ostatke. U slučaju elektrodinamike, bilo je potrebno učiniti dva takva beskonačna odbitka, jedan za masu i drugi za naboj elektrona. Taj postupak renormalizacije nije nikad bio postavljen na vrlo čvrste pojmovne ili matematičke temelje, ali je u praksi prilično dobro prolazio. Njegov najveći uspjeh bio je predviđanje malog pomaka, tzv. Lam-bovog pomaka, u nekim linijama spektra atomskog vodika. Međutim, nije zadovoljavajuć pri pokušaju izgradnje potpune teorije, jer ne daje nikakva predviđanja vrijednosti konačnih ostataka preostalih nakon provedbe beskonačnih odbitaka. Prema tome, morali bismo pasti natrag na antropsko načelo da objasnimo zašto elektron ima masu i naboj kakve ima.

Tijekom pedeset i šezdeseti godina općenito se vjerovalo da se slaba i jaka nuklearna sila ne mogu renormizirati; to bi naime zahtijevalo beskonačan broj beskonačnih odbitaka da ih se učini konačnim. Postojao bi beskonačan broj konačnih ostataka koji ne bi bili određeni teorijom. Takva jedna teorija ne bi imala snagu predviđanja, jer se nikad ne bi moglo izmjeriti sveukupan beskonačan broj parametara. Međutim, 1971. je Gerard't Hooft pokazao da se jedan jedinstven model elektromagnetskog i slabog međudjelovanja, što su ga ranije bili predložili Abdus Ealam i Steven Weinberg, ipak može renormalizirati sa samo nekim konačnim brojem beskonačnih odbitaka. U Salam-Weinbergovoj teoriji, foton — čestica sa spinom 1 - udružen je s tri druga partnera spina 1, nazvanih W^+ , W^- i Z^0 . Teorija je predviđala da se

na vrlo velikim energijama ove četiri čestice ponašaju na sličan način. Međutim, za objašnjenje činjenica da na nižim energijama foton ima masu mirovanja nula, dok su naprotiv sve tri druge čestice, W^+ , W^- i Z^0 vrlo masivne, prizvana je u pomoć pojava zvana spontano lomljenje simetrije. Niskoenergetska predviđanja teorije značajno dobro su se slagala s promatranjima, što je vodilo Švedsku akademiju da 1979. dodijeli Nobelovu nagradu za fiziku Salamu, Weinbergu i Sheldonu Glashowu, koji je također oblikova sličnu jedinstvenu teoriju. Međutim, i sam Glashow je bio iznio opasku kako se Nobelov komitet pritom prilično kockao, jer još nemamo čestični akcelerator dovoljno visoke energije za provjeru teorije u uvjetima kada ujedinijenje elektromagnetskih sila (nošenih fotonima) i slabih sila (nošenih W^+ , W^- i Z^0 česticama) stvarno i nastupa. Dovoljno jaki ubrzivači bit će gotovi za nekoliko godina, i većina fizičara je uvjerena da će oni potvrditi Salam-Weinbergovu teoriju.*

Uspjeh Salam-Weinbergove teorije doveo je do potrage za sličnom renormalizirivom teorijom jakog međudjelovanja. Već se dosta rano uvidjelo da proton i drugi hadroni, poput pi-mezona, ne bi mogle biti prave elementalne čestice, već da bi morale biti neka vezna stanja drugih, elementarnijih čestica, zvanih kvarkovi. Čini se da ovi imaju neobično svojstvo da, premda se mogu slobodno gibati unutar hadrona, izgleda da je nemoguće pribaviti samo jedan jedini izdvojeni kvark; uvijek su ili u skupinama po tri (npr. proton ili neutron) ili u parovima kvark-antikvark (npr. pi-mezon) Za objašnjenje to-

*Ovaj je članak napisan prije nego se to doista i ostvarilo. Naime, W^+ i Z^0 čestice otkrivene su 1983. nakon što je proradio novi CERN-ov akcelerator, a za to otkriće dobiše Nobelovu nagradu 1984. Carlo Rubbia i Simon van der Meer, koji su bili na čelu skupine istraživača u CERN-u. Osoba koju je nagrada mimoišla bio je 't Hooft

ga, kvarkovima je pridodano svojstvo zvano boja. Valja naglasiti da ta riječ "boja" nema ništa zajedničkog s našim uobičajenim viđenjem boje; kvarkovi su premaleni da bi se vidjeli u vidljivoj svjetlosti. To je samo jedno prikladno ime. Zamisao je da kvarkovi dolaze u tri boje — zelenoj, crvenoj i plavoj — ali da neko izolirano vezno stanje, kakvo je hadron, mora biti bezbojno, i to ili kombinacija crvenog, zelenog i plavog, kao što je slučaj kod protona, ili mješavina crvenog i anticrvenog, zelenog i antizelenog, plavog i antiplavog, što je slučaj kod pi-me-zona.

Pretpostavlja se da jaka međudjelovanja između kvar-kova nose čestice spina 1 zvane gluoni, nešto poput čestica koje nose slabo međudjelovanje. Gluoni također imaju boju, a zajedno s kvarkovima pokoravaju se renormalizirivoj teoriji zvanoj kvantna kromodinamika ili skraćeno QCD. Posljedica postupka renormalizacije je ta da djelatna konstanta vezanja u teoriji zavisi o enegiji pri kojoj je mjerena, a na vrlo visokim energijama opada na nulu. Ova pojava poznata je kao asimptotska sloboda. To znači da se kvarkovi unutar hadrona ponašaju gotovo poput slobodnih čestica pri visokoenergetskom sudaru, tako da se smetnje u njihovom ponašanju mogu uspješno obrađivati teorijom smetnji. Predviđanja teorije smetnji su u razumno kvalitativnom slaganju s promatranjem, ali još uvijek se ne može doista izjaviti da je teorija eksperimentalno potvrđena. Pri niskim energijama, djelatna konstanta vezanja postaje vrlo velika i teorija smetnji se ruši. Izražene su nade da će to "infracrveno ropstvo" objasniti zašto su kvarkovi uvijek zatvoreni u bezbojno vezno stanje, no dosad još nitko nije mogao pokazati da je ta nada uvjerljiva.

Imajući na raspolaganju jednu renormalizirivu teoriju za jaka međudjelovanja, a jednu drugu za slaba i

elektromagnetska međudjelovanja, bijaše prirodno ogle dati se za jednom teorijom koja će sjediniti te dvije. Takvim je teorijama dana ponešto preuveličana titula: "velike jedinstvene teorije", ili skraćeno GUT (prema engleskom nazivu, *prim. prev.*). Taj naziv nekako vodi u pogrešan zaključak, jer one nisu ni baš tako velike, ni posve jedinstvene ni potpune teorije, zato jer imaju neki broj neodređenih renormalizacijskih parametara, poput konstanti vezanja i masa. Pa ipak, mogle bi se pokazati kao značajan korak prema potpunoj jedinstvenoj teoriji. Temeljna zamisao je da djelatna konstanta vezanja kod jakih međudjelovanja, koja je velika pri niskim energijama, zbog asimptotske slobode postupno opada pri visokim energijama. S druge strane, djelatna konstanta vezanja Salam-Weinbergove teorije, koja je na niskim energijama mala, postupno raste kako se energija povećava, jer ova teorija nije asimptotski slobodna. Kad se ekstrapolira niskoenergetska brzina opadanja odnosno rasta konstanti vezanja, ustanovljuje se da dvije konstante vezanja postaju jednake pri energiji od oko 10^{35} GeV. (GeV je kratica za milijardu elektronvolti. Otprilike tolika energija bi se oslobodila kad bi se jedan vodikom atom mogao cijeli pretvoriti u energiju. Usporedbe radi, energija oslobođena u kemijskoj reakciji, kakvo je gorenje, je reda veličine jedan elektronvolt po atomu.) Teorije predlažu da su iznad ove energije ujedinjena jaka međudjelovanja sa slabim i elektromagnetskim međudjelovanjem, ali da se pri nižim energijama događa spontani lom simetrije.

10^{15} GeV je vrlo daleko iznad mogućnosti bilo kakve laboratorijske opreme; sadašnja generacija ubrzivača čestica mogu proizvesti energije sudara središta mase od oko 10 GeV, a sljedeća generacija će proizvesti energije od 100 GeV ili slično. Bit će to dovoljno za istraživanje energetskog opsega u kojem se elektromagnetske sile

sjedinjuju sa slabim silama, shodno Salam-Weinbergo-voj teoriji, ali ne i za istraživanje onih silno visokih energija pri kojima se, kako se predviđa, slaba i elektromagnetska međudjelovanja sjedinjuju s jakim međudjelovanjima. Usprkos tomu, velike jedinstvene teorije daju za niske energije predviđanja koja se mogu ispitati u laboratoriju. Na primjer, teorije predviđaju da proton i nije baš potpuno stabilan te da se raspada za svog životnog vijeka od 10^{31} godina. Sadašnja donja eksperimentalna granica je životni vijek od oko 10^{30} godina, a prema bi se mogla još i poboljšati.

Drugo predviđanje kog je moguće saznati iz promatranja tiče se omjera bariona i fotona u svemiru. Izgleda da su zakoni fizike isti za čestice i antičestice. Točnije rečeno, zakoni su isti ako čestice nadomijestimo antičesticama, vrtnju nadesno zamijenimo vrtnjom nalijevo (zrcalna slika) te okrenemo smjerove brzina svih čestica. Ovo je poznato kao CPT teorem i posljedica je temeljnih pretpostavki koje bi se trebale održati u svakoj prihvatljivoj teoriji. Zemlja, a također i čitav Sunčev sustav, građena je od protona i neutrona, bez nekih antiprotona i antineutrona. Dakako, takva jedna neravnoteža između čestica i antičestica još je jedan a priori uvjet za naše postojanje, jer da je Sunčev sustav sastavljen od mješavine čestica i antičestica u jednakome omjeru, one bi se sve međusobno poništile i ostalo bi samo zračenje. Na temelju opazivog odsustva takvog anihilacijskog zračenja, možemo izvesti zaključak da je naša Galaktika u cijelosti građena od čestica, a ne i od antičestica. Za druge galaktike ne posjedujemo izravni dokaz za takav zaključak, ali čini se vjerojatno da su i one sastavljene od čestica te da u svemira kao cjelini ima viška čestica nad antičesticama, tako da dolazi jedna čestica na 10^8 fotona. Netko bi za objašnjenje toga mogao pozvati u pomoć antropsko

načelo, no velike jedinstvene teorije zapravo nude mogućí mehanizam za objašnjenje nerazmjera. Premda izgleda da su sva međudjelovanja nepromjenjiva glede kombinacije C (zamjene čestica antičesticama), P (promjena desne vrtnje u lijevu) i T (promjena smjera vremena), poznato je da ima međudjelovanja koja nisu nepromjenjiva glede samo T. U ranom svemiru, u kojem postoji vrlo izrazita strijela vremena zadana ekspanzijom, ova međudjelovanja mogla su proizvesti više čestica nego antičestica. Ipak, njihov broj vrlo ovisi o uzorku, tako da slaganje s promatranjem teško može biti protumačeno kao potvrda velikih jedinstvenih teorija.

Dosad, većina je napora bila posvećena ujedinjenju prve tri vrste fizičkih međudjelovanja, jakoj i slaboj nuklearnoj sili te elektromagnetizmu. Četvrta i posljednja, gravitacija, bijaše zanemarena. Jedno opravdanje za ovo je da je gravitacija tako slaba da bi kvantni gravitacijski učinci postali veliki samo kod energija čestica vrlo daleko iznad onih u našim ubrzivačima čestica. Drugo opravdanje: izgleda da se na gravitaciju ne može primijeniti postupak renormalizacije; da se pribave konačni odgovori čini se da bi trebalo provesti beskonačan broj beskonačnih odbitaka s odgovarajućim beskonačnim brojem neodređenih konačnih ostataka. Ipak, želi li se potpuna jedinstvena teorija, u nju se mora uključiti i gravitacija.

Štoviše, klasična opća teorija relativnosti predviđa postojanje prostorvremenskih singularnosti kod kojih bi gravitacijsko polje postalo beskonačno jako. Ove singularnosti bi se događale u prošlosti, na početku sadašnjeg širenja svemira (Veliki prasak), te u budućnosti u obliku gravitacijskog kolapsa zvijezda i, možda, čitavog svemira. Pretkazanje singularnosti po svoj prilici ukazuje na to da će ta klasična teorija relativnosti ovdje doživjeti slom. Međutim, čini se da nema razloga zašto bi se srušila pri-

je negoli gravitacijsko polje postane dovoljno jako da postanu važni kvantni gravitacijski učinci. Prema tome, kvantna teorija gravitacije je bitna pri opisivanju ranog svemira i davanju nekih objašnjenja za početne uvjete, izvan pukog prizivanja antropskog načela.

Takva je teorija potrebna ukoliko tražimo odgovor na pitanje: Ima li vrijeme zaista početak i — možda — kraj, kao što proizlazi iz klasične opće teorije relativnosti, ili su pak singularnosti u Velikom prasku i u Velikom sažimanju na neki način — zahvaljujući kvantnim učincima - razmazane? Velika je poteškoća dati dobro određeno mišljenje kad su to ustrojstva samog prostora i vremena takvi da su podanici načela neodređenosti. Moj osobni osjećaj je da su singularnosti vjerojatno još prisutne, premda se može nastavljati vrijeme mimo njih u izvjesnom matematičkom smislu. Međutim, bilo kakav subjektivni pojam vremena, koji se odnosio na svijest ili na mogućnost izvođenja mjerenja, bi se u njima završio.

Kakvi su izgledi u pribavljanju kvantne teorije gravitacije te ujedinjenju nje s druge tri vrste međudjelovanja? Najveća nada čini se da leži u proširenju opće teorije gravitacije u ono što zovemo supergravitacija. U njoj se graviton, čestica sa spinom 2 koja nosi gravitacijsko međudjelovanje, dovodi u svezu s nekim brojem drugih polja nižeg spina putem tako zvanih transformacija super-simetrije. Velika je zasluga ove teorije što ona uklanja staru dihotomiju između "materije", predstavljene česticama polovičnog spina, te "međudjelovanja", predstavljenih česticama cjelobrojnog spina. Njena je velika prednost i u tome što se mnoge beskonačnosti koje nastaju u kvantnoj teoriji međusobno poništavaju. Još nam nije poznato poništavaju li se doista sve tako da daju teoriju koja je konačna bez nekih beskonačnih odbitaka. Izražena je nada da je tako, jer može se pokazati da su teorije

koje uključuju gravitaciju ili konačne ili se ne mogu renormalizirati; to znači da ako se moraju provesti neka beskonačna oduzimanja tada će se morati napraviti beskonačan broj njih s odgovarajućim beskonačnim brojem neodređenih ostataka. Prema tome, ako se za sve beskonačnosti u supergravitaciji pokaže da se poništavaju jedne s drugima, mogli bismo imati teoriju koja ne samo da potpuno objedinjuje sve tvarne čestice i međudjelovanja već je potpuna u smislu da nema neke neodređene renormalizacijske parametre.

Premda još nemamo pravu kvantnu teoriju gravitacije, a kamoli jednu koja ujedinjuje nju s drugim fizičkim međudjelovanjima, imamo zamisao o značajkama što bi ih ona trebala posjedovati. Jedna od njih povezana je s činjenicom da gravitacija utječe na uzročnu strukturu prostorvremena.; to jest, gravitacija određuje koji događaji mogu biti uzročno povezani jedan s drugim. Primjer za to u klasičnoj teoriji opće relativnosti daje nam crna jama, područje prostorvremena u kojem je gravitacijsko polje tako jako da vuče svjetlost ili neki drugi signal natrag u to područje pa ništa ne može pobjeći u vanjski svijet. Snažno gravitacijsko polje pokraj crne jame uzrokuje stvaranje parova čestica i antičestica, od kojih jedna pada natrag u crnu jamu, a druga bježi u beskonačnost. Čestica koja bježi izgleda kao ju je emitirala crna jama. Neki promatrač daleko od crne jame može mjeriti samo odlazeće čestice i ne može ih dovesti u svezu s onima koje su pale u crnu jamu, jer njih ne može promatrati. To znači da odlazeće čestice imaju neki dodatni stupanj nasumičnosti ili nepredvidivosti, osim onoga koji im je u pravilu pridružen po načelu neodređenosti. U uobičajenim situacijama načelo neodređenosti izražava da se ne može jasno pretkazati *ili* položaj *ili* brzina neke čestice *ili* neka kombinacija položaja i brzine. Stoga, grubo rečeno,

mogućnost donošenja jasnih pretkazivanja je prepolovljena. Međutim, u slučaju čestica emitiranih iz crne jame, činjenica da se ne može promatrati što se događa unutar crne jame znači da se ne mogu jasno pretkazati ni položaji ni brzine emitiranih čestica. Sve što se može dati su vjerojatnosti da će čestice biti emitirane na neki način.

Čini se stoga da čak i ako postavimo jedinstvenu teoriju, moći ćemo biti u stanju praviti samo statističke predviđanja. Trebali bismo napustiti stanovište da postoji neki jedini svemir što ga promatramo. Umjesto toga, trebali bismo prihvatiti sliku u kojoj postoji neki zbor svih mogućih svemira, s nekom vjerojatnom raspodjelom. To može objasniti zašto je svemir startao u Velikom prasku u gotovo savršenoj toplinskoj ravnoteži, budući da bi toplinska ravnoteža bila u skladu s najvećim brojem mikroskopskih konfiguracija pa stoga i najviše vjerojatna. Da parafraziramo Voltaireovog filozofa Panglosa: "Živimo u najvjerojatnijem od svih mogućih svjetova."

Kakvi su izgledi da ćemo utemeljiti potpunu jedinstvenu teoriju u ne tako dalekoj budućnosti? Svaki put kad smo proširili naša promatranja na više energije i manje dimenzije, otkrismo nove slojeve građe svijeta. Na početku stoljeća, otkriće Brownovog gibanja s tipičnom energijom čestice 3×10^2 eV pokazalo je da građa materije nije neprekidna već da je materija sastavljena od pojedinačnih atoma. Kratko nakon toga otkriveno je da su ti, kako se mislilo nedjeljivi, atomi složeni od jezgre i elektrona koji kruže oko nje s energijama reda veličine nekoliko elektronvolti. Za samu jezgru je pak nađeno da je složena od takozvanih elementarnih čestica, protona i neutrona, držanih zajedno nuklearnim vezama reda veličine 10^8 eV. Posljednje poglavlje u toj priči je otkriće da su protoni i elektroni građeni od kvarkova, držanih zajedno vezama reda veličine 10^9 eV. Danak takvom na-

pretku teorijske fizike je da su nam sada potrebni ogromni strojevi i velike količine novca za izvođenje pokusa, rezultate kojih ne možemo pretkazati.

Naše prošlo iskustvo može nas navesti na to da postoji beskonačan niz slojeva građe tvari na sve višim i višim energijama. Doista, stanovište o beskonačnom slijedu kutija unutar kutija bijaše službena dogma u Kini u vrijeme Četveročlane Bande. Međutim, čini se da bi gravitacija trebala pribaviti neki limit, ali tek na vrlo kratkoj dužini od 10^{33} cm i na vrlo visokoj energiji od 10^{28} eV. Na dužinama kraćima od ove trebalo bi očekivati da se prostorvrijeme prestane ponašati poput glatkog kontinuuma i poprimilo bi pjenastu građu zbog kvantnih fluktuacija gravitacijskog polja.

Postoji vrlo široko neistraženo područje između granice sadašnjih eksperimenalnih mogućnosti od oko 10^{10} eV i gravitacijskog prekida pri 10^{28} eV. Bilo bi naivno pretpostaviti, kako to čine velike jedinstvene teorije, da u tom silnom rasponu energija postoji samo jedan ili dva sloja građe. Međutim, postoje temelji za optimizam. Ovog trenutka, ako već ništa drugo, izgleda da se gravitacija može ujediniti s drugim fizičkim međudjelovanjima samo u nekoj teoriji supergravitacije. Čini se da ima samo neki konačan broj takvih teorija. Posebno, postoji najveća takva teorija, takozvana proširena supergravitacija $N = 8$. Ona sadrži jedan graviton, osam čestica spina $-3/2$ zvanih gravitonos, dvadeset osam čestica spina 1, pedeset šest čestica spina $-1/2$ i sedamdeset čestica spina 0. Koliko god ti brojevi bili veliki, nisu dovoljno veliki da objasne sve one čestice što ih, tako izgleda, promatramo u jakim i slabim međudjelovanjima. Na primjer, $N = 8$ teorija ima dvadeset osam čestica spina 1. One su dovoljne za objašnjenje gluona koji nose jaka međudjelovanja te za objašnjenje dvije od četiri čestice koje nose slaba međudjelo-

vanja, ali ne i druge dvije. Trebalo bi se stoga vjerovati da mnoge ili većina promatranih čestica poput gluona ili kvarkova i nisu doista elementarne, kako nam se sada čini, već da su one vezna stanja osnovnih $N = 8$ čestica. Nije vjerojatno da ćemo imati dovoljno snažne ubrzivače čestica za ispitivanje ovih složenih struktura u nekoj dovoljno bliskoj budućnosti, ili možda nikad, ako bi se radili planovi na temelju sadašnjih gospodarskih kretanja. Ipak, činjenica da su ta vezna stanja proizašla iz dobro definirane $N = 8$ teorije omogućila bi nam postaviti izvjestan broj predviđanja koja bi se mogla ispitati na energijama dohvatljivima već sada ili u bliskoj budućnosti. Stanje bi stoga moglo biti slično onome za Salam-Weinbergovu teoriju koja je ujedinila elektromagnetizam i slabo međudjelovanje. Niskoenergetska predviđanja ove teorije tako se dobro slažu s promatranjima da je ta teorija sada općenito prihvaćena, premda još nismo dosegнули energije na kojima se ujedinjenje i ostvaruje.

Trebalo bi biti nečeg vrlo osobitog u toj teoriji koja opisuje svemir. Zašto se ta teorija oživljava, dok druge teorije postoje samo u glavama njihovih izumitelja? $N = 8$ teorija supergravitacije ima razloga smatrati se nečim posebnim. Izgleda da bi ona mogla biti jedina teorija koja:

1. je u četiri dimenzije
2. uključuje gravitaciju
3. je konačna bez nekih beskonačnih odbitaka

Već sam naglasio da je ovo treće svojstvo potrebno ako smo za teoriju bez parametara. Međutim, teško se mogu obrazložiti svojstva pod 1. i 2., a da se ne pozovemo na antropsko načelo. Čini se da je dosljedna neka teorija koja udovoljava svojstva 1. i 3., ali koja ne uključuje

gravitaciju. Ipak, takav neki svemir vjerojatno ne bi bio mjesto dovoljno učinkovito po načinu na koji privlačne sile skupljaju tvar u velike nakupine, kakve su vjerojatno potrebne za razvoj složenih struktura. Zašto bi prostor-vrijeme trebalo biti četverodimenziono, pitanje je za koje se obično uzima da spada izvan područja fizike. Međutim, i za to postoji dobar dokaz u obliku antropskog načela. Tri prostorvremenske dimenzije — to jest dvije prostorne i jedna vremenska — očito su nedovoljne za tvorbu nekog složenog organizma. S druge strane, ako bi bilo više od tri prostorne dimenzije, staze planeta oko Sunca ili elektrona oko jezgre bile bi nestabilne; planeti odnosno elektroni bi se u spirali približavali središtu kruženja. Preostaje još mogućnost za više od jedne vremenske dimenzije, ali ja eto takav jedan svemir mogu vrlo teško zamisliti.

Dosad, prešutno sam pretpostavio da postoji neka konačna teorija. Ali postoji li? Imamo najmanje tri mogućnosti:

1. Nema potpuno jedinstvene teorije.
2. Nema konačne teorije, ali postoji bekonačan niz teorija koje su takve da se može predvidjeti bilo koja posebna vrsta promatranja ukoliko se za nju uzme teorija dovoljno duboko u nizu.
3. Nema teorije. Promatranja se ne mogu opisati ili pretkazati s one strane neke granice, već su tek proizvoljna.

Treće gledište je bilo moderno kao sredstvo dokazivanje protiv znanstvenika sedamnaestog i osamnaestog stoljeća: Kako znanstvenici smiju formulirati zakone koji bi ograničavali slobodnu volju Boga da mijenja svoje mišljenje? Unatoč tomu, oni su to činili i s tim su nastavili.

U sadašnje vrijeme, djelotvorno smo odstranili 3. mogućnost, ugrađujući je unutar naše sheme: Kvantna mehanika je u biti teorija o tome što ne znamo i ne možemo pretkazati.

Mogućnost pod brojem 2. bila bi jednaka slici beskonačnog niza struktura na sve višim i višim energijama. Kao što rekoh ranije, to izgleda nevjerovatno, jer bismo očekivali da postoji prekid na Planckovoj energiji od 10^{28} eV. Ovog trenutka je $N = 8$ teorija supergravitacije jedini kandidat na obzoru*. Vjerojatno će tijekom sljedećih nekoliko godina biti proveden izvjestan broj presudnih izračunavanja koja će možda pokazati da ta teorija nije dobra. Ukoliko teorija položi ove ispite, proći će vjerojatno još ponešto godina prije negoli razvijemo računске metode koje će nam omogućiti izvođenje predviđanja i prije negoli uzmognemo objasniti početne uvjete svemira i zakone fizike. To će biti istaknuti zadaci za teorijske fizičare u sljedećih dvadesetak godina. Ali da završim u blago paničarskom tonu, možda neće ni imati mnogo više vremena od toliko. Zasad, računala su korisno pomagala pri istraživanjima, ali njima moraju upravljati ljudski umovi. Ekstrapoliramo li, međutim, u budućnost posljednji brzi razvoj računala, čini nam se mogućim da će ona u cijelosti preuzeti teorijsku fiziku. Stoga je možda na pomolu kraj za teorijske fizičare, ako već ne teorijske fizike same.

Teorije supergravitacije čini se da su jedine teorije čestica sa svojstvima pod 1., 2. i 3., no otkako u bile napisane pojavio se velik val zanimanja za ono što zovemo teorije superstruna. U ovima osnovni predmeti nisu točkaste čestice već rastegnuti predmeti nalik malim petljama strune. Zamisao je da ono što se nama pričinja kao čestica u stvari je neka vibracija na nekoj struni. Ove teorije superstruna čini se da se na nikoenergetskoj granici svode na supergravitaciju, ali dosad je bilo malo uspjeha u dobivanju eksperimentalno provjerivih predviđanja glede teorije superstruna.

8

EINSTEINOV SAN

POČETKOM DVADESETOGA stoljeća dvije nove teorije potpuno su promijenile način našeg razmišljanja o prostoru i vremenu te o samoj stvarnosti. Više od sedamdeset pet godina kasnije mi još uvijek razrađujemo njihove dublje smislove i nastojimo ih spojiti u neku jedinstvenu teoriju koja će opisati sve u svemiru. Dvije teorije o kojima je riječ su opća teorija relativnosti i kvantna mehanika. Opća teorija relativnosti ima posla s prostorom i vremenom te kako su oni zakrivljeni ili iskrivljeni materijom i energijom na makroplanu svemira. Kvantna mehanika pak s druge strane ima posla s vrlo malenim veličinama. U njoj je sadržano ono što je nazvano načelo ne-

* Predavanje održano u Tokiju srpnja 1991.

određenosti, načelo koje izriče da se nikada ne može točno izmjeriti i položaj i brzina čestice u istom trenutku; što se točnije može izmjeriti jedna veličina, to je manja točnost mjerenja druge. Prisutan je uvijek neki element nesigurnosti ili slučaja i on utječe na ponašanje tvari u malim dimenzijama na bitni način. Einstein je gotovo sam, bez ičiji pomoći, stvorio opću teoriju relativnosti, a odigrao je i značajnu ulogu u razvoju kvantne mehanike. Njegovi osjećaji odbojnosti prema ovoj potonjoj sažeti su u njegovoj slavnoj izjavi "Bog se ne kocka." No sav dokazni materijal upućuje na to da je Bog nepopravljivi kockar te da se kocka u svakoj mogućoj prigodi.

U ovom eseju pokušat ću prenijeti temeljne ideje koje stoje iza ove dvije teorije te zašto je Einstein bio tako nesretan s kvantnom mehanikom. Opisat ću također neke značajne stvari koje se, izgleda, događaju kada se pokuša objediniti te dvije teorije. One ukazuju na to da je samo vrijeme imalo početak prije otprilike petnaest milijardi godina te da bi moglo imati kraj u nekoj točki u budućnosti. Ipak, u jednoj drugoj vrsti vremena, svemir nema granice. On je niti stvoren niti će biti uništen. On jednostavno jest.

Započet ću s teorijom relativnosti. Državni zakoni vrijede samo unutar jedne države, ali zakoni fizike su isti u Britaniji, SAD ili Japanu. No isti su također i na Marsu i u Andromedinoj maglici. I ne samo to. Zakoni su isti bez obzira kojom brzinom se kretali. Zakoni su isti u brzom vlaku ili u zrakoplovu kao i za nekoga tko stoji na mjestu. Dakako, i netko tko sjedi u svojoj sobi na Zemlji zapravo se kreće brzinom od 30 kilometara oko Sunca. Sunce se pak također giba brzinom od više stotina kilometara u sekundi oko središta Galaktike, i tako dalje. Ipak, sva ta gibanja se u zakonima fizike ne razlikuju: zakoni su isti za sve promatrače.

Neovisnost o brzini sustava prvi je otkrio Galilej koji je iznio na vidjelo zakone gibanja predmeta poput topovske kugle ili planeta. Međutim, pojavila se poteškoća kad smo nastojali proširiti ovu neovisnost o brzini promatrača do zakona koji ravnaju gibanjem svjetlosti. U osamnaestom stoljeću je bilo otkriveno da svjetlost put od izvora do promatrača ne prevaljuje trenutno već da putuje nekom brzinom, oko 300.000 kilometara na sekundu. Ali, ta je brzina u odnosu na što? Bilo je razumno pretpostaviti da je prostor ispunjen nekim medijem po kojem svjetlost putuje. Taj je medij bio nazvan eter. Zamišljalo se da svjetlosni valovi putuju kroz eter brzinom od 300.000 kilometara u sekundi, što znači da bi promatrač koji miruje u odnosu na eter mjerio brzinu svjetlosti 300.000 kilometara u sekundi, no promatrač koji se i sam giba kroz eter izmjerio bi veću ili manju brzinu. S tim u svezi, smatralo se da bi se mjerena brzina svjetlosti trebala mijenjati ovisno o gibanju Zemlje kroz eter na njenom godišnjem putovanju oko Sunca. Međutim, pažljivo proveden pokus Michelsona i Morleya godine 1887. pokazao je da je brzina svjetlosti bila uvijek ista. Bez obzira kojom se brzinom gibao promatrač, uvijek bi izmjerio brzinu svjetlosti 300.000 kilometara u sekundi.

Kako to može biti? Kako je moguće da promatrači koji se gibaju različitim brzinama svi mjere istu brzinu svjetlosti? Odgovor je da ne mogu, ukoliko je naše uobičajeno poimanje prostora i vremena točno. Međutim, u svom slavnom radu iz godine 1905. Einstein je pokazao da ti promatrači mogu mjeriti svi iste brzine svjetlosti ukoliko napuste ideju općenitog, apsolutnog vremena. Umjesto toga, svaki promatrač imao bi svoje vlastito osobno vrijeme, mjereno urom što ga promatrač nosi sa sobom. Vremena mjerena tim raznim urama slagala bi se gotovo točno ukoliko se ure, to jest njihovi vlasnici,

gibaju sporo jedne u odnosu na druge. Međutim, vremena mjerena raznim urama osjetno bi se razlikovala ako bi se ure međusobno gibale velikom brzinom. Ovaj učinak je doista bio zapažen uspoređivanjem ure na tlu s jednom u putničkom zrakoplovu; ura u zrakoplovu išla je neznatno sporije u usporedbi s urom u mirovanju. Međutim, pri uobičajenim brzinama putovanja, vrlo su sitne razlike u brzini hoda ura. Trebali biste obletjeti svijet putničkim zrakoplovom četrsto milijuna puta da produžite svoj život za jednu sekundu; no vaš bi se život bitno više skratio zbog svih onih obroka pojedenih u zrakoplovu.

Kako to osobna vremena ljudi koji putuju raznim brzinama imaju za posljedicu mjerenje iste brzine svjetlosti? Brzina pulsa svjetlosti je udaljenost što je svjetlost prevali između dva događaja, podijeljena s vremenskim intervalom između tih događaja. (Događaj u ovom smislu je nešto što se dogodi u jednoj točki prostora, pri određenoj točki vremena.) Ljudi koji se gibaju različitim brzinama neće se složiti glede udaljenosti između dva događaja. Na primjer, ako mjerim automobil koji putuje niz autocestu, mogu misliti da je prešao samo jedan kilometar, ali za nekoga na Suncu automobil bi se pomaknuo oko 1800 kilometara (30 kilometara puta 60 sekundi), jer se cijela Zemlja giba prostorom za vrijeme putovanja automobila po autocesti. Budući da promatrači s različitim brzinama gibanja mjere različite udaljenosti između događaja, moraju također mjeriti i različite intervale vremena, ukoliko su se suglasili o istoj brzini svjetlosti.

Einsteinova prvotna teorija relativnosti, koju je bio predložio u radu iz 1905. je ono što danas zovemo specijalna teorija relativnosti. Ona opisuje gibanje predmeta kroz prostor i vrijeme. Pokazuje da vrijeme nije općenita veličina koja postoji sama za sebe, odvojena od prostora. Zapravo, budućnost i prošlost samo su smjerovi, poput

gore i dolje, lijevo i desno, naprijed i natrag, u onome što se zove prostorvrijeme. Ipak, kad je o vremenu riječ, možete ići samo u smjeru budućnosti, ali *možete* ići malo i pod kutem na taj smjer. Zbog toga vrijeme može protjecati različitim brzinama.

Specijalna teorija relativnosti ujedinjuje vrijeme s prostorom, ali vrijeme i prostor bijahu još uvijek stalna pozadina u kojoj se zbivaju događaji. Mogli ste birati gibanje različitim stazama kroz prostorvrijeme, ali ništa što biste mogli učiniti ne bi promijenilo podlogu prostora i vremena. Međutim, sve je to bilo promijenjeno kad je Einstein formulirao 1915. opću teoriju relativnosti. Iznio je revolucionarnu zamisao da gravitacija nije tek sila koja je djelovala u stalnoj podlozi. Po teoriji gravitacija je poremećaj prostorvremena, uzrokovan masom i energijom u njemu. Predmeti poput topovskih kugli ili planeta nastoje se gibati pravocrtno kroz prostorvrijeme, ali budući da je prostorvrijeme zakrivljeno, izobličeno, a ne ravno, njihove staze izgledaju savinute. Zemlja ustrajava u gibanju po ravnoj crti kroz prostorvrijeme, ali zakrivljenost prostorvremena izazvana masom Sunca uzrokuje njeno kružno gibanje oko Sunca. Slično, svjetlost nastoji putovati pravocrtno, ali zakrivljenost prostorvremena u blizini Sunca uzrokuje savijanje zrake svjetlosti s daleke zvijezde, kad zraka prolazi pokraj Sunca. U običnim okolnostima nemoguće je vidjeti zvijezde na danjem nebu, pogotovo ne one u optičkoj blizini Sunca. Međutim, za vrijeme pomrčine, kad je Sunčev disk zastrt diskom Mjeseca, možemo promatrati te zvijezde uz disk zamračenog Sunca. Einstein je postavio opću teoriju relativnosti za vrijeme prvog svjetskog rata, kad uvjeti nisu bili povoljni za znanstvena promatranja i suradnju, ali odmah nakon rata, 1919., jedna je britanska ekspedicija promatrala pomrčinu i potvrdila predviđanja opće teorije

relativnosti: prostorvrijeme nije ravno već ga modelira tvar i energija u njemu.

Bijaše to Einsteinov blistavi uspjeh. Njegovo je otkriće potpuno preoblikovalo način na koji razmišljamo o prostoru i vremenu. Nema više pasivne pozadine na kojoj se zbivaju događaji. Nismo mogli više smatrati prostor i vrijeme nečim zauvijek zadanim, nezasmetanim onim što se događalo u svemiru. Umjesto toga, bile su to dinamičke veličine na koje utjecahu događaji koji su se odigravali u njima.

Važno svojstvo mase i energije je da su uvijek pozitivne. Zato gravitacija uvijek djeluje tako da se tijela međusobno privlače. Na primjer, gravitacija Zemlje privlači sve prema sebi, pa tako i na suprotnoj strani svijeta. Zato u Australiji ljudi ne padnu sa svijeta. Slično tome, gravitacija Sunca drži planete na stazi oko njega i sprečava Zemlju da ne odjuri u tamu međuzvezdanoga prostora. U skladu s općom teorijom relativnosti, činjenica da je masa uvijek pozitivna znači da je prostor zakrivljen u sebe, poput površine Zemlje. Kad bi masa bila negativna, prostorvrijeme bi bilo zakrivljeno na drukčiji način, poput površine sedla. Ovu pozitivnu zakrivljenost prostorvremena, koja odražava činjenicu da je gravitacija privlačna, Einstein je vidio kao velik problem. Tada je bilo rasprostranjeno uvjerenje da je svemir statičan, a ako su k tome još prostor, a naročito vrijeme, bili zakrivljeni u same sebe, kako bi svemir mogao nastaviti zauvijek u više ili manje istom stanju u kakvome je sada?

Einsteinove izvorne jednadžbe opće teorije relativnosti pretkazuje su pak svemir koji se ili širi ili steže. Einstein je stoga dodao jednadžbama jedan dodatni član koji uspostavlja odnos između mase i energije svemira s jedne strane te zakrivljenosti prostorvremena s druge. Ovaj takozvani kozmološki član sadržavao je odbojni

gravitacijski učinak. Tako je dakle bilo moguće uravnotežiti privlačenje izazvano materijom i odbijanje izazvano tim kozmološkim članom u jednadžbama. Drugim riječima, negativna zakrivljenost prostorvremena proizvedena kozmološkim članom mogla bi poništiti pozitivnu zakrivljenost prostorvremena proizvedenu masom i energijom u svemiru. Na ovaj bi se način mogao održati model svemira koji bi trajao zauvijek u istome stanju. Da je Einstein bio ostao vjeran svojim izvornim jednadžbama, bez kozmološkog člana, on bi pretkazao svemir ili u širenju ili u stezanju. Ali u ono se doba smatralo da se svemir vremenom ne mijenja, sve dok nije Edwin Hubble godine 1929. otkrio da se daleke galaktike udaljuju od nas. Svemir se širi. Einstein je kasnije nazvao kozmološki član u jednadžbama "najvećom pogreškom mog života."

Bez kozmološkog člana ili s njim, činjenica da materija uzrokuje savijanje prostorvremena u sebe ostala je problem, premda općenito nije bio prepoznat kao takav. A on je značio to da bi materija mogla zakriviti neko područje oko sebe tako jako da bi zapravo izrezala samu sebe iz ostatka svemira. To bi područje postalo ono što je kasnije nazvano crna jama. Predmeti bi mogli upasti u crnu jamu, ali ništa ne bi moglo pobjeći iz nje. Da bi se iz nje izašlo, moralo bi se putovati brže od brzine svjetlosti, što ne dopušta teorija relativnosti. Materija bi dakle u crnoj jami bila uhvaćena u zamku i urušila bi se do nekog nepoznatog stanja vrlo visoke gustoće.

Einstein je bio duboko uznemiren dubljim smislom tog kolapsa te je odbio povjerovati da se on događa. Ali Robert Oppenheimer je 1939. pokazao da bi stara zvijezda, mase veće od dvostruke mase Sunca, neizbježno doživjela urušavanje nakon iscrpljenja sveg svojeg nuklearnog goriva. Drugi su se znanstvenici mnogo više bavili fizikom koja se mogla proučavati na Zemlji. Oni nisu

imali povjerenja u pretkazanja o dalekim prostranstvima svemira, jer im se nije činilo da bi mogla biti dokazana promatranjima. Međutim, veliko poboljšanje u doseg i kvaliteti astronomskih promatranja šezdesetih godina ovog stoljeća dovelo je do novog zanimanja za gravitacijski kolaps i za prve trenutke svemira. Bilo je ostalo nejasno što je Einsteinova opća teorija relativnosti točno predviđala u tim situacijama, sve dok Roger Penrose i ja nismo dokazali neke teoreme. Oni su pokazali da činjenica o zakrivljenosti prostorvremena u sebe podrazumijeva i postojanje singulariteta, mjesta gdje prostorvrijeme ima neki početak ili kraj. Trebao bi imati početak u Velikom prasku, prije otprilike petnaest milijardi godina, a kraj bi došao za neku zvijezdu onda kad bi nastupio kolaps, a isti bi kraj zadesio i sve što upadne u tu crnu jamu, preostalu nakon urušavanja zvijezde.

Činjenica da je Einsteinova opća teorija relativnosti proizvela singularnosti dovela je do krize u fizici. Jednadžbama opće relativnosti, koje dovode u svezu zakrivljenost prostorvremena s raspodjelom mase i energije, ne može se dati značenje singularnosti. To znači da opća relativnost ne može predvidjeti što proizlazi iz singularnosti. Posebno važno, opća relativnost ne može proreći kako bi svemir započeo u Velikom prasku. Dakle, opća relativnost nije potpuna teorija. Potreban joj je dodatni sastojak zato da se odredi kako bi svemir započeo i što bi se dogodilo kad se materija uruši u sebe pod stiskom vlastite gravitacije.

Čini se da je potrebni dodatni sastojak kvantna mehanika. Godine 1905., iste godine kad je napisao svoj rad o specijalnoj teoriji relativnosti, Einstein je također pisao i o pojavi zvanom fotoelektrični efekt. Bilo je naime zamijećeno da se pri izlaganju nekih metala svjetlosti iz njih oslobađaju i emitiraju nabijene čestice. Zagonetna poje-

dinost je bila u činjenici da kad se jačina svjetlosti smanjuje, broj emitiranih čestica opada, ali je brzina kojom je svaka čestica bila emitirana ostajala ista. Einstein je pokazao da se to može objasniti ako svjetlost ne dolazi na metal u neprekinuto promjenjivim količinama, kako su svi smatrali, već u isprekidanim pošiljkama, paketima određene veličine. Predodžbu svjetlosti dolazećoj samo u paketima, zvanih kvanti, uveo je nekoliko godina ranije njemački fizičar Max Planck. Ova je zamisao razumljivija ako se sjetite da u samoposluzi ne možete dobiti brašno u rasutom stanju ("rinfuzi") već samo pakirano u vrećicama od po jednog kilograma. Planck je zamisao o kvantima bio upotrijebio za objašnjenje zašto crveno usijani metal ne zrači beskonačne količine topline; no on je kvant jednostavno smatrao za zgodan teorijski trik, nešto što nije odgovaralo ničemu u fizičkoj stvarnosti. Einsteinov rad je pokazao da se pojedinačni kvanti mogu izravno zamijetiti. Svaka čestica emitirana iz metala odgovarala je jednom kvantu svjetlosti što je padao na metal. Ovaj rad je bio svugdje prepoznat kao vrlo vrijedan doprinos kvantnoj teoriji i donio je Einsteinu Nobelovu nagradu 1922. (Trebao bi dobiti Nobelovu nagradu za opću teoriju relativnosti, no zamisao da su prostor i vrijeme zakrivljeni tada se još smatrala previše spekulativna i proturječna, pa su mu umjesto za relativnost dali nagradu za fotoelektrični efekt — premda bi već i samo ovo potonje bio dovoljan razlog za dodjelu nagrade.)

Puni dublji značaj fotoelektričnog efekta nije bio zamijećen sve do 1925., kad je Werner Heisenberg objasnio da je nemoguće točno izmjeriti položaj neke čestice. Da biste vidjeli gdje se čestica nalazi, morate je obasjati svjetlošću. Ali Einstein je bio pokazao da ne možete upotrijebiti po volji malu količinu svjetlosti; morate uzeti barem jednu "vrećicu", to jest kvant. Ovaj kvant svjetlosti

bi poremetio položaj čestice tjerajući je na gibanje nekom brzinom u nekom smjeru. Što ste točnije željeli izmjeriti položaj čestice, to je veća energija kvanta kojeg trebate upotrijebiti pa bi stoga on i jače remetio stanje čestice. Ma koliko se trudili mjeriti česticu, uvijek će umnožak neodređenosti njenog položaja i neodređenosti njene brzine biti veći od nekog minimalnog iznosa.

Ovo Heisenbergovo načelo neodređenosti iznijelo je na vidjelo da se ne mogu posve točno mjeriti stanja nekog sustava, pa se dakle ne bi moglo točno pretkazati što bi sustav činio u budućnosti. Sve što se može učiniti je prognozirati vjerojatnosti različitih ishoda. To je taj element slučaja ili nasumičnosti, koji je toliko uznemirio Einsteina. On je odbio povjerovati da zakoni fizike ne bi mogli ponuditi neko određeno nedvosmileno predviđanje onoga što će se u fizičkom svijetu dogoditi. Ali kako god da se izrekne, sve jasno ukazuje na to da su kvantne pojave i načelo neodređenosti neizbježne te da su prisutne u svim granama fizike.

Einsteinovu opću teoriju relativnosti zovemo klasičnom teorijom zato jer ne uključuje u sebi načelo neodređenosti. Mora se stoga iznaći neka nova teorija koja spaja opću relativnost i načelo neodređenosti. U najvećem broju situacija, razlika između te nove teorije i klasične opće relativnosti bit će vrlo malena. To je zato, jer se — kao što je već ranije spomenuto — neodređenost pretkazana kvantnim učincima javlja samo na vrlo maloj ljestvici veličina, dok nasuprot tome opća relativnost barata sa strukturama prostorvremena na vrlo velikoj ljestvici veličina. Međutim, teoremi singularnosti koje smo Roger Penrose i ja dokazali, pokazuju da će na vrlo maloj ljestvici veličina prostorvrijeme postati silno zakrivljeno. Učinci načela neodređenosti tada će postati vrlo važni i izgleda da će pokazati neke značajne rezultate.

Dio Einsteinovih problema s kvantnom mehanikom i načelom neodređenosti proizašao je iz činjenice što je on upotrebljavao uobičajenu zdravorazumsku predodžbu da neki sustav ima neki jasno određen prikaz. Neka čestica je ili u jednom mjestu ili u drugom. Slično tome, neki događaj, poput iskrcavanja ljudi na Mjesec, ili se dogodio ili se nije dogodio. Nije se mogao polu-dogoditi. Isto je tako i s činjenicom da ne možete biti samo malo mrtvi ili samo malo trudni. Ili to jeste ili to niste. A ako sustav ima jedan jedini određeni prikaz, načelo neodređenosti vodi u sve vrste paradoksa, poput čestice koja je na dva mjesta odjednom ili astronauta koji su samo napola na Mjesecu. Elegantan način izbjegavanja ovih paradoksa koji su gnjavili Einsteina bio je predložio američki fizičar Richard Feynman. Feynman je postao poznat 1948. po svome radu na kvantnoj teoriji svjetlosti. Dobio je Nobelovu nagradu zajedno s drugim Amerikancem, Julianom Schwingerom, te japanskim fizičarem Šinihiro Tomonagom. Feynman je bio fizičar nad fizičarima, u istoj tradiciji poput Einsteina. Mrzio je raskoš i glupost i zahvalio se na članstvu u Nacionalnoj akademiji znanosti, jer je ustanovio da u njoj znanstvenici troše previše svoga vremena na odlučivanju kojim će drugim kolegama biti dopušten pristup Akademiji. Feynman, koji je umro 1988., zapamćen je po svojim brojnim doprinosima teorijskoj fizici. Jedan od njih su dijagrami koji nose njegovo ime, a koji su temelj gotovo svakog izračuna u fizici čestica danas. Ali njegov značajniji doprinos je njegov pojam zbroja po prikazima. Ideja je bila u tome da neki sustav nema samo jedan prikaz u prostorvremenu, kakav bi mu se normalno pridavao u nekoj klasičnoj ne-kvantnoj teoriji. Umjesto toga, sustav ima sve moguće prikaze. Uzmimo, na primjer, česticu u točki A u nekom trenutku. Uobičajeno, pretpostavilo bi se da će se čestica

gibati pravocrtno iz A. Međutim, prema zamisli o zbroju po prikazima, ona se može gibati po *bilo kojoj* stazi koja kreće iz A. To je slično onome što će se dogoditi ako kapnete tintu na papir za upijanje tinte. Kapi tinte će se širiti po upijačnom papiru po svim mogućim putovima. Čak i ako pokušate zapriječiti pravocrtne putove između dvije točke zarezujući papir, tinta će pronaći zaobilazne putove.

Svakoj stazi ili prikazu čestice bit će pridružen i neki broj koji zavisi o obliku staze. Vjerojatnost čestice putujuće iz A do B dana je zbrajanjem brojeva pridruženih svim stazama koje vode česticu iz A u B. Za većinu staza, broj pridružen stazi će gotovo poništiti brojeve staza koje su tik do njegove. One će stoga vrlo malo doprinijeti vjerojatnosti čestičinog gibanja iz A u B. Ali brojevi od pravocrtnih staza će se zbrajati s brojevima od staza koje su gotovo pravocrtne. Stoga će najveći doprinos vjerojatnosti doći od staza koje su pravocrtne ili gotovo pravocrtne. To je razlog zašto trag što ga neka čestica ostavlja prolazeći kroz komoru na mjehuriće izgleda gotovo pravocrtan. Ali ako na put čestice stavite nešto poput pregrade s pukotinom, staze čestice mogu se raspršiti iza pukotine. Može biti velika vjerojatnost nalaženja čestice daleko od ravne crte kroz pukotinu.

Godine 1973. počeh istraživati kakve bi učinke načelo neodređenosti imalo na česticu u zakrivljenom prostor-vremenu blizu crne jame. Došao sam do značajnog rezultata, naime da crna jama uopće nije posve crna. Načelo neodređenosti dopušta česticama i zračenju istjecati iz crne jame nekim stalnim tempom. Ovaj je rezultat bio potpuno iznenađenje za mene i za sve druge te je bio dočekan s općom nevjericom. Ali kad sad gledam na to unatrag, takav se rezultat očito morao pojaviti. Crna jama je područje iz kojeg je nemoguće pobjeći putuje li se sporije

od brzine svjetlosti. Ali Feynmanov zbroj po prikazima izriče da čestice mogu izabrati *bilo koji put* kroz prostor-vrijeme. Prema tome je moguće da neka čestica putuje brže od svjetlosti. Putovanje čestice brže od svjetlosti malo je vjerojatno ako je riječ o velikim udaljenostima, ali ona može ići brže od svjetlosti samo toliko daleko da izađe iz crne jame, a zatim nastaviti sporije od svjetlosti. Na ovaj način, načelo neodređenosti dopušta česticama bijeg iz onog što se ranije smatralo konačnim zatvorom, iz crne jame. Vjerojatnost za uspjeti bijeg čestice iz crne jame mase Sunca bila bi vrlo niska, jer bi u ovom slučaju čestica morala putovati brže od svjetlosti čak više kilometara. No mogle bi postojati mnogo manje crne jame, koje su se oblikovale u početku svemira. Ove takozvane praiskonske crne jame bile bi manje od veličine jezgre atoma, a ipak bi im masa bila reda veličine milijardu tona, poput kakve planine. One bi zračile toliko energije poput velike električne centrale. Kad bismo samo mogli naći jednu od tih malenih crnih jama i koristiti njenu energiju. Nažalost, čini se da ih nema mnogo uokolo po svemiru.

Predviđanje zračenja iz crne jame bio je prvi neobični rezultat nastao iz spajanja Einsteinove opće teorije relativnosti s kvantnim načelom. Pokazao je da gravitacijski kolaps nije baš tako konačni kraj kako se činilo da je. Čestice u crnoj jami ne trebaju završiti svoje živote pri singularnosti. Umjesto toga, one mogu pobjeći iz crne jame i nastaviti živjeti u vanjskome svijetu. Možda bi kvantno načelo trebalo značiti da se također može izbjeći da životopisi čestica imaju neki početak u vremenu, u točki stvaranja, u Velikom prasku.

To je preteško pitanje da bi se na njega odgovorilo, budući da uključuje primjenu kvantnog načela na samu građu vremena i prostora, a ne samo na čestične staze u nekoj zadanoj podlozi prostorvremena. Ono što nam je

potrebno je način dobivanja zbroja po prikazima ne samo za pojedinačne čestice već za čitavo tkivo prostora i vremena kao takvo. Mi još ne znamo kako pravilno provesti to zbrajanje, ali poznate su nam neke značajke što bi ih ono moralo imati. Jedna od njih je da je lakše provesti zbrajanje ako radimo s prikazima u onome što nazivamo imaginarno vrijeme, umjesto u običnom, stvarnom vremenu. Imaginarno vrijeme je pojam koji se teško shvaća i on je vjerojatno onaj koji je prouzročio najveće probleme čitateljima mojih tekstova. Zbog korištenja imaginarnog vremena doživio sam žestoke kritike i od strane filozofa. Kako imaginarno vrijeme može imati išta sa stvarnim svemirom? Mislim da ovih filozofi nisu prihvatili pouke povijesti. Nekoć se kao posve očito smatralo da je Zemlja ravna i da Sunce putuje oko nje, no nakon Kopernika i Galileja bilo je potrebno prilagoditi se zamisli da je Zemlja okrugla i da kruži oko Sunca. Slično tome, bilo je dugo očito da vrijeme protječe za sve istim tempom, ali nakon Einsteina morali smo prihvatiti spoznaju da vrijeme ide različitim tempom za razne promatrače. Bilo je svojedobno također očito da svemir ima jedinstveni prikaz, no nakon utemeljenja kvantne mehanike moramo smatrati svemir nečim što posjeduje svaki mogući prikaz. Želim navesti na to da je zamisao imaginarnog vremena nešto što će također morati biti prihvaćeno. To je jedan umni skok istog reda veličine kao i uvjerenje da je Zemlja okrugla. Mislim da će nam se imaginarno vrijeme približiti tako da će izgledati jednako prirodno kao što nam je sada okrugla Zemlja. U školovanom svijetu nije ostalo još mnogo Ravnozemaljaca.

Obično stvarno vrijeme možete zamisliti kao neku ravnu crtu, koja ide slijeva nadesno. Ranija vremena su lijevo, a kasnija vremena su desno. No možete također uzeti u obzir drugi smjer vremena, u smjeru gore i dolje

po ovoj stranici. To je takozvani imaginarni smjer vremena, okomit na stvarno vrijeme.

U čemu je stvar s uvođenjem pojma imaginarnog vremena? Zašto se jednostavno ne držimo našeg običnog stvarnog vremena? Razlog tomu, kao što je već ranije rečeno, je činjenica da materija i energija nastoje savinuti prostorvrijeme u njega samog. Za smjer stvarnog vremena, to neizbježno vodi u singularnosti, mjesta gdje prostorvrijeme ima kraj. Pri singularnostima ne mogu se definirati jednadžbe fizike; stoga se ondje ne može predvidjeti što će se dogoditi. Ali smjer imaginarnog vremena okomit je na smjer stvarnog vremena. To znači da se ponaša na način sličan trima smjerovima koji odgovaraju gibanju u prostoru. Zakrivljenost prostorvremena uzrokovana materijom u svemiru može dakle odvesti ka tri prostorna smjera te ka smjeru imaginarnog vremena, što se zajedno susreću materiji oko leđa. Oblikovala bi zatvorenu površinu, poput površine Zemlje. Tri prostorna smjera i imaginarno vrijeme oblikovala bi prostorvrijeme koje je zatvoreno u samo sebe, bez rubova ili granica. Ne bi imalo neku točku koja bi se mogla zvati početak ili kraj, posve isto kao što površina Zemlje nema početka ili kraja.

Jim Hartle i ja predložismo 1983. godine da zbrajanje po prikazima za svemir ne bi trebalo raditi po prikazima u stvarnom vremenu. Umjesto toga, trebalo bi ga provesti po prikazima u imaginarnom vremenu, koji su bili zatvoreni u sebe same, poput površine Zemlje. Budući da ovi prikazi nisu imali nikakve singularnosti ili neki početak ili kraj, ono što bi se u njima dogodilo bilo bi potpuno određeno zakonima fizike. To znači da ono što bi se dogodilo u imaginarnom vremenu može biti izračunljivo. A ako vam je poznata povijest svemira u imaginarnom vremenu, možete izračunati i kako se ponaša u

stvarnom vremenu. Na ovaj način, mogli bismo se nadati dobivanju potpune jedinstvene teorije, jedne koja bi prikazivala sve u svemiru. Einstein je proveo posljednje godine svog života tražeći takvu jednu teoriju. Nije je našao, jer je sumnjao u kvantnu mehaniku. Nije bio pripravan uvažiti da bi svemir mogao imati mnogo alternativnih prikaza, kao u zbroju po prikazima. Mi još uvijek ne znamo kako točno doći do zbroja po prikazima za svemir, ali možemo biti prilično sigurni da će on sadržavati imaginarno vrijeme i predodžbu prostorvremena zatvorenog u sama sebe. Mislim da će ovi pojmovi postati sljedećim generacijama jednako tako prirodni kao nama okrugla Zemlja. Imaginarno vrijeme već je uobičajeno u znanstvenoj fantastici. Ali ono je više od znanstvene fantastike ili matematičkoga trika. Ono je nešto što oblikuje svemir u kojem živimo.

9

PODRIJETLO SVEMIRA*

PROBLEM PODRIJETLA SVEMIRA donekle je sličan starom pitanju: Što je bilo prije, kokoš ili jaje? Drugim riječima, koja djelatnost je stvorila svemir, a što je stvorilo tu djelatnost? Ili možda svemir, ili djelatnost koja ga je stvorila, postojale oduvijek i nije ih ni trebalo stvoriti. Sve donedavno, znanstvenici su se plašili takvih pitanja, držeći da ne spadaju u znanost već u metafiziku ili religiju. Ipak, tijekom posljednjih godina izašlo je na vidjelo da se zakonima znanosti može obuhvatiti čak i početak svemira. U tom slučaju, svemir bi morao biti samostojan i potpuno određen zakonima znanosti.

*Predavanje održano u Cambridgeu srpnja 1987. na skupu *Tristo godina gravitacije*, a povodom 300. obljetnice objavljivanja Newtonovih *Principia*.

Rasprava o tome je li i kako je svemir započeo proteže se kroz čitavu pisanu povijest. Načelno, postojale su dvije škole mišljenja. Mnoge stare predaje, jednako kao i židovska, kršćanska i islamska religija, držale su da je svemir bio stvoren u prilično nedavno vrijeme. (Biskup Ussher je u sedamnaestom stoljeću izračunao da se stvaranje svemira dogodilo 4004. godine prije Krista, brojka do koje je došao zbrajajući dužine života ljudi spomenutih u Starom zavjetu.) Činjenica koja se uzimala u prilog zamisli o nedavnom postanku bila je povezana s razvojem kulture i tehnike. Sjećamo se tko je prvi izveo taj i taj posao ili razvio tu i tu tehniku. Dakle, govorilo je dalje dokazivanje, nismo mogli biti ovdje baš jako dugo; u protivnom bismo već uznapredovali mnogo više nego što jesmo. Zapravo, biblijska godina stvaranja i nije jako daleko od vremena kraja posljednjeg ledenog doba, kada se moderni ljudi, čini se, po prvi put značajnije i pojavljuju.

S druge strane, bilo je ljudi poput starogrčkog filozofa Aristotela, kojima se nije sviđala zamisao da je svemir imao početak. Oni su osjećali da bi to podrazumijevalo božansku intervenciju. Zbog toga im je bilo draže vjerovanje da je svemir postojao oduvijek te da će postojati zauvijek. Nešto što je bilo vječno bilo je savršenije od nečeg što treba biti stvoreno. Imali su odgovor i na gore spomenuto dokazivanje glede ljudskog napretka: periodične poplave i druge slične prirodne katalizme stalno su vraćale ljudsku vrstu natrag na novi početak.

Obje škole mišljenja smatrale su da je svemir bitno nepromjenjiv u vremenu. Bilo da je stvoren u sadašnjem obliku, bilo da traje oduvijek ovakav kakav je sada. To je bilo prirodno vjerovanje, budući da je ljudski život — pa čak i čitava pisana povijest — tako kratko vrijeme da se tijekom njega svemir nije značajno izmijenio. U stalnom, nepromjenjivom svemiru, pitanje je li on postojao odu-

vijek ili je bio stvoren prije nekog konačnog vremena u prošlosti zapravo je predmet metafizike ili religije: I jedna i druga teorija mogle bi objasniti takav svemir. Doista, filozof Immanuel Kant je 1781. napisao monumentalno i vrlo nejasno djelo *Kritik der reinen Vernunft* (Kritika čistoga uma) u kojem je zaključio da su bila jednakovrijedna dokazivanja i za vjerovanje da je svemir imao neki početak kao i za vjerovanje da nije imao. Kako napućuje naslov djela, njegovi su zaključci bili utemeljeni samo na umu, drugim riječima, nisu uzeli u obzir promatranja svemira. Uostalom, u nekom nepromjenjivom svemiru čega bi i bilo za promatranje?

Međutim, u devetnaestom stoljeću se polako počeo gomilati dokazni materijal da se i Zemlja i ostatak svemira zapravo tijekom vremena mijenjaju. Geolozi usta-noviše da je za oblikovanje stijena i fosila u njima potrebno stotine ili tisuće milijuna godina. Bilo je to mnogo duže vrijeme od one starosti Zemlje kako su to bili izračunali kreacionisti. Daljnji dokaz dobiven je zahvaljujući takozvanom drugom zakonu termodinamike, što ga je formulirao njemački fizičar Ludwig Boltzmann. On izriče da ukupna količina nereda u svemiru (koja se mjeri veličinom zvanom entropija) vremenom uvijek raste. Ovo, poput dokazivanja glede ljudskog napretka, navodi na zaključak da svemir bijaše u pogonu samo tijekom nekog konačnog vremena. U protivnom, bio bi dosad već degeneriran do stanja potpunog nereda, u kojem bi sve što postoji bilo iste temperature.

Druga poteškoća s idejom statičkog svemira je činjenica da, u skladu s Newtonovim zakonom gravitacije, svaku zvijezdu u svemiru privlači prema sebi svaka druga zvijezda. Ako je tako, kako bi mogle biti nepokretne, na stalnoj udaljenosti jedne od drugih? Zar ne bi sve pale na zajedničku hrpu?

Newton je bio svjestan tog problema. U pismu Richardu Bentleyu, vodećem filozofu svog vremena, on se složio da *konačna* nakupina zvijezda ne bi mogla ostati u stanju mirovanja; sve bi zvijezde padale prema nekoj središnjoj točki. Međutim, umovao je on, beskonačna nakupina zvijezda ne bi se tako ponašala, jer ne bi postojala neka središnja točka u koju bi one padale. Ovaj dokaz je primjer zamke na koju se nailazi kad se govori o beskonačnim sustavima. Upotrebljavajući razne načine pri-brajanja privlačnih sila na svaku zvijezdu od strane beskonačnog broja drugih zvijezda u svemiru, moguće je dobiti različite odgovore na pitanje mogu li zvijezde ostati na stalnim udaljenostima jedne od drugih. Sada znamo da je ispravan postupak razmatrati slučaj *konačnog* područja ispunjenog zvijezdama, a zatim mu dodavati više zvijezda, raspoređenih otprilike ravnomjerno izvan tog područja. Konačna nakupina zvijezda past će zajedno u jednu točku, a — u skladu s Newtonovim zakonom — dodavanje više zvijezda iz vanjskog područja neće zaustaviti kolaps. Dakle, beskonačna nakupina zvijezda ne može ostati u stanju mirovanja. Ukoliko se one u nekom vremenu ne gibaju jedne u odnosu na druge, započet će zbog međusobnog privlačenja padanje svih prema svima, odnosno skupljanje prema jednoj točki. Ako se pak u početku udaljuju jedne od drugih, gravitacija će sve više usporavati brzinu uzmicanja.

Unatoč ovih poteškoća s predodžbom statičkog i nepromjenjivog svemira, nitko nije tijekom sedamnaestog, osamnaestog, devetnaestog i početkom dvadesetog stoljeća predlagao svemir koji bi se razvijao tijekom vremena. I Newton i Einstein propustiše priliku predvidjeti sliku širećeg ili stežućeg svemira. Nitko to ne može upisati Newtonu za zlo, jer je živio dvjesto pedeset godina prije promatranja koja su dovela do otkrića širenja sve-

mira. Ali Einstein je mogao postupiti bolje. Opća teorija relativnosti koju je postavio 1915. pretkazala je šireći svemir. Ali on je ostao tako uvjereni pristaša statičkog svemira da je svojoj teoriji dodao jedan element samo zato da je uskladi s Newtonovom teorijom i uravnoteži gravitaciju.

Edwin Hubble je 1929. otkrio širenje svemira i time potpuno promijenio raspravu o njegovu podrijetlu. Uzmete li sadašnje gibanje galaktika i krenete njime natrag u vremenu, vidjeli biste da su one u nekom trenutku, otprilike prije deset do dvadeset milijardi godina, bile sve zbijene jedna na drugoj. U to vrijeme su singularnost zvana Veliki prasak, gustoća svemira i zakrivljenost prostorvremena bili beskonačni. U takvim se uvjetima lome svi poznati zakoni fizike. To je silna nesreća za znanost. To bi značilo da sama znanost ne može ustanoviti kako je započeo svemir. Sve što bi znanost mogla reći je: svemir je sada kakav je, jer je onda bio kakav je bio. Ali znanost ne bi mogla objasniti zašto je bio kakav je bio odmah nakon Velikog praska.

Ne iznenađuje da su mnogi znanstvenici bili nezadovoljni takvim zaključkom. Bilo je stoga više pokušaja izbjegavanja zaključka da bi morala postojati singularnost Velikog praska, a iz toga i početak vremena. Jedan od tih pokušaja bijaše i takozvana teorija stalnog stanja. Njena ključna ideja je sljedeća: kako bi se galaktike udaljavale jedne od drugih, nove galaktike bi se oblikovale u nastalim međuprostorima i to od materije koja bi neprekidno bila stvarana u prostoru. Svemir je postojao i nastavio bi postojati zauvijek u manje-više istom stanju u kakvom je danas.

Budući da se svemir nastavlja širiti i nova materija stvarati, model stalnog stanja zahtijevao je preinaku opće teorije relativnosti, a tempo stvaranja nove materije

bio je vrlo nizak: otprilike jedna čestica u kubičnom kilometru prostora godišnje, što ne bi došlo u sukob s promatranjima. Teorija je također predviđala da bi prosječna gustoća galaktika i sličnih objekata bila stalna i u prostoru i u vremenu. Međutim, pregled izvora radiovalova izvan naše Galaktike, što su ga proveli Martin Ryle i njegova ekipa s Cambridgea, iznijela je na vidjelo da ima mnogo više slabih izvora nego jakih. U prosjeku, očekivalo bi se da su slabi izvori udaljeniji. Postojale su stoga dva moguća objašnjenja: ili se nalazimo u dijelu svemira u kojem je broj jakih izvora ispodprosječan ili je gustoća izvora bila veća u prošlosti, u vrijeme kad je svjetlost bila napuštala te daleke izvora krećući na put prema nama. Ni jedna od ovih dviju mogućnosti nije bila sukladna s predviđanjem teorije stalnog stanja da bi gustoća radioizvora trebala biti stalna u prostoru i vremenu. Konačni udarac teoriji zadalo je otkriće pozadinskog mikrovalnog zračenja (Arno Penzias i Robert Wilson 1964.) iz dalekih izvangalaktičkih prostora. Zračenje je imalo svojstveni spektar vrućeg tijela, premda u ovom slučaju pojam *vruć* teško da je baš primjeren, jer je to "vruće" tijelo imalo temperaturu od samo 2,7 stupnjeva iznad apolutne nule. Svemir je hladno, tamno mjesto. U teoriji stalnog stanja nije postojao prikladan mehanizam za proizvodnju mikrovalova s takvim spektrom. Teorija se stoga morala napustiti.

Druga ideja za izbjegavanje singularnosti Velikog praska došla je 1963. od dvojice ruskih znanstvenika, Jevgenija Lifšica i Izaka Kalatnikova. Rekli su da se stanje beskonačne gustoće može dogoditi samo ako su se galaktike gibale direktno jedna prema drugoj ili jedna od druge; samo u tom slučaju bi one u prošlosti bile skupljene u jednoj točki. Međutim, galaktike također imaju i neke male komponente brzina u stranu, "u koso", pa su

zahvaljujući tome bile preživjele neku raniju fazu kontrakcije svemir, pri kojoj galaktike dođoše međusobno vrlo blizu, ali im je nekako uspjelo izbjeći međusobne sudare. Svemir je mogao zatim krenuti u novo širenje, bez prolaženja kroz stanje beskonačne gustoće.

Kad su Lifšic i Kalatnikov iznijeli svoj prijedlog, ja sam bio student istraživač u potrazi za nekim problemom koji će upotpuniti temu mog doktorata. Zanimalo me pitanje je li postojala singularnost Velikog prasak, jer je to bilo odlučujuće za razumijevanje podrijetla svemira. Zajedno s Rogerom Penroseom razvili novi skup matematičkih tehnika za rad na tom i sličnim problemima. Pokazali smo da ako je teorija relativnosti točna, svaki prihvatljivi model svemira mora započeti u singularnosti. Ovo bi značilo da znanost može proreći da je svemir morao imati neki početak, no da ne može proreći kako *bi trebao* započeti: za ovo potonje treba prizvati Boga.

Bijaše zanimljivo promatrati promjenu klime mišljenja o singularnostima. Kad sam bio diplomirani student, gotovo nitko nije gledao na njih ozbiljno. Sada, kao posljedak teorema singularnosti, gotovo svatko vjeruje da je svemir započeo s nekom singularnosti, na kojoj se lome svi zakoni fizike. Međutim, sada mislim da se, premda singularnost postoji, pomoću zakona fizike ipak može ustanoviti kako je svemir započeo.

Opća teorija relativnosti je ono što nazivamo klasična teorija. Ona, naime, ne uzima u obzir činjenicu da čestice nemaju točno određene položaje i brzine već su "razmazane" preko nekog malenog područja prema načelu neodređenosti kvantne mehanike, koji ne dopušta istodobno mjerenje položaja i brzine. To u normalnim situacijama i nije važno, jer je polumjer zakrivljenosti prostorvremena vrlo velik u usporedbi s neodređenosti položaja čestice. Međutim, teoremi singularnosti pokazuju da

će na početku sadašnjeg širenja svemira prostorvrijeme biti vrlo zakrivljeno, s vrlo malenim polumjerom zakrivljenosti. U tom će slučaju načelo neodređenosti biti vrlo važno. Prema tome, opća teorija relativnosti je predviđajući singularnosti povukla u njima i sebi u propast. Za raspravu o početku svemira treba nam teorija koja će sjединiti opću relativnost s kvantnom mehanikom.

Ta teorija je kvantna gravitacija. Još uvijek ne znamo točan oblik što će ga zadobiti ispravna teorija kvantne gravitacije. Najbolji kandidat za to ovog trenutka je teorija superstruna, ali i ovdje postoje brojne neriješene poteškoće. Ipak, od svake takve teorije koja će se moći održati na životu možemo očekivati neke značajke. Jedna od njih je Einsteinova ideja da se učinci gravitacije mogu predstaviti prostorvremenom koje je zakrivljeno — iskrivljeno — materijom i energijom u njemu. U tom zakrivljenom prostoru objekti nastoje slijediti stazu najbližu pravcu. Međutim, budući da je prostor zakrivljen, njihove staze su savinute, kao što bi bile gravitacijskim poljem.

Druga značajka koju očekujemo naći u konačnoj teoriji je prijedlog Richarda Feynmana da se kvantna teorija može izložiti kao "zbroy po prikazima". U svom najjednostavnijem obliku, zamisao je da svaka čestica ima svaku moguću stazu to jest prikaz, u prostorvremenu. Svaka staza to jest prikaz ima neku vjerojatnost, koja zavisi od njenog oblika. Da bi ta zamisao radila, treba uzeti u obzir prikaze u imaginarnom vremenu, a ne u stvarnom vremenu u kojem sebe zapažamo kao živa bića. Imaginarno vrijeme može zvučati poput nečeg iz znanstvene fantastike, no to je jasno određen matematički pojam. U izvjesnom smislu, njega se može zamisliti kao smjer vremena koji je okomit na smjer realnog, stvarnog vremena. Zbrajaju se vjerojatnosti za sve čestične prikaze s izvjesnim svojstvima, poput prolaženja kroz neku točku u

nekom trenutku. Zatim se rezultat ekstrapolira natrag u stvarno vrijeme u kojem živimo. Ovo nije najubičajeniji pristup kvantnoj mehanici, ali daje iste rezultate kao i drugi načini.

U slučaju kvantne mehanike, Feynmanova ideja o zbroju po prikazima podrazumijevala bi zbrajanja po različitim mogućim prikazima, ili povijestima, za svemir. Zbroj bi predstavljao prikaz svemira i svega u njemu. Treba pobliže označiti koji bi razred mogućih zakrivljenih prostora bio uključen u taj zbroj po prikazima. Odabir ovog razreda prostora određuje u kojem je stanju svemir. Ako razred zakrivljenih prostora koji određuje stanje svemira uključuje i prostore sa singulamostima, s posebnostima, vjerojatnosti takvih prostora ne bi bile određene teorijom. Umjesto toga, vjerojatnosti bi trebale biti određene na neki proizvoljni način. To bi zapravo značilo da znanost ne može predvidjeti vjerojatnosti takvih posebnosnih, singularnih prikaza za prostorvrijeme. Prema tome, ona ne može predvidjeti kako bi se svemir ponašao. Moguće je, međutim, da je svemir u nekom stanju koje je određeno nekim zbrojem što uključuje samo neregularne zakrivljene prostore. U tom slučaju, prirodnoznanstveni zakoni potpuno bi odredili svemir; ne bi se trebalo pozivati na neko djelovanje izvan svemira, a da bi se odredilo kako je on započeo. Na izvjestan način, prijedlog da je stanje svemira određeno zbrojem samo po neregularnim prikazima slično je pijancu koji noću traži svoj izgubljeni ključ ispod ulične svjetiljke: to možda nije mjesto gdje ga je izgubio, ali je to jedino mjesto gdje bi ga mogao naći. Slično tome, svemir možda nije u stanju određenom zbrojem po neregularnim prikazima, ali to je jedino stanje u kojem bi znanost mogla predvidjeti kakav bi svemir trebao biti.

Godine, Jim Hartle i ja predložili smo da bi stanje

svemira trebalo biti zadano putem zbroja nekog razreda prikaza. Ovaj razred sastojao se od zakrivljenih prostora bez singularnosti, koji bi bili konačne veličine, ali koji ne bi imali rubove ili granice. Bili bi poput površine Zemlje, ali s dvije dimenzije više. Površina Zemlje je područje konačne veličine, ali nema nikakvih singularnosti, granica, rubova. Provjerio sam to pokusom. Obišao sam svijet i nisam pao s njega.

Prijedlog što smo ga iznijeli Hartle i ja može se parafrazirati kao: Granični uvjet svemira je da svemir nema granicu. Samo ako je svemir u tome *ne-granica* stanju, prirodnoznanstveni zakoni, sami od sebe, određuju vjerojatnosti svakog mogućeg prikaza. Prema tome, samo u tom slučaju bi poznati zakoni odredili kako bi se svemir ponašao. Ukoliko je svemir u nekom drugom stanju, razred zakrivljenih prostora u zbroju po prikazima uključivat će i prostore sa singularnostima, to jest s posebnostima. Da bi se odredile vjerojatnosti takvih singularnih prikaza, trebalo bi se obratiti za pomoć nekom načelu drugačijem od poznatih nam zakona znanosti. Ovo načelo bilo bi nešto izvan našeg svemira. Ne možemo ga izvesti iz stajališta unutar našeg svemira. S druge pak strane, ako je svemir u *ne-granica* stanju, mogli bismo, bar načelno, potpuno odrediti kako bi se svemir ponašao, sve do ograničenja zadanih načelom neodređenosti.

Sto se znanosti tiče, bilo bi doista lijepo ako je svemir u *ne-granica* stanju, no kako možemo reći je li doista? Odgovor je da *ne-granica* prijedlog daje određena i jasna predviđanja o tome kako bi se svemir ponašao. Pa sad, ukoliko se ova predviđanja ne slažu s promatranjima, mogli bismo zaključiti da svemir nije u *ne-granica* stanju. Prema tome, *ne-granica* prijedlog je jedna dobra znanstvena teorija u smislu što ga je definirao filozof Karl Popper: može se pobiti ili pokvariti promatranjem.

Ako se promatranja ne slažu s predviđanjima, znat ćemo da moraju postojati singularnosti u razredu mogućih prikaza. Međutim, to je otprilike sve što bismo znali. Ne bismo bili u stanju računati vjerojatnosti tih singularnih, posebitih prikaza; prema tome, ne bismo bili u stanju predvidjeti kako bi se ponašao svemir. Može se pomisliti da ova nepredvidivost nije ni previše važna ukoliko se dogodila samo u Velikom prasku; uostalom, bijaše to prije deset ili dvadeset milijardi godina. Ali ako se predvidivost slomila u vrlo jakim gravitacijskim poljima u Velikom prasku, mogla bi se također slomiti i kadgod neka zvijezda doživi kolaps. Ovo bi se moglo događati samo u našoj Galaktici nekoliko puta tjedno. Naša moć predviđanja bila bi slaba čak i prema mjerili za meteorološke prognoze.

Dakako, netko bi mogao reći da ne trebamo brinuti o slomu predvidivosti što se dogodio u nekoj dalekoj zvijezdi. Ipak, u kvantnoj teoriji, bilo što što zaista nije zabranjeno može se dogoditi i dogodit će se. Dakle, ukoliko razred mogućih prikaza, mogućih povijesti, sadrži prostore sa singularnostima, ove se singularnosti mogu dogoditi bilo gdje, ne samo pri Velikom prasku ili u uruša-vajućoj zvijezdi. To bi značilo da ne bismo mogli predvidjeti ništa. Obrnuto, činjenica da smo ipak u stanju predvidjeti ishode pokusa, eksperimentalna je očevidnost protiv singularnosti, a za *ne-granica* prijedlog.

Pa što to onda *ne-granica* prijedlog predviđa za svemir? Prva stvar koju moramo učiniti je da će bilo koja veličina upotrijebljena kao mjera vremena imati neku najveću i neku najmanju vrijednost, budući da su svi mogući prikazi za svemir konačni u prostiranju. Prema tome, svemir će imati početak i kraj. Početak u stvarnom vremenu bit će singularnost, posebnost zvana Veliki prask. Međutim, početak u imaginarnome vremenu neće

biti neka singularnost. Umjesto toga, bit će on nešto pomalo nalik Sjevernome polu na Zemlji. Uzmemo li da su na površini vremena stupnjevi širine istoznačni vremenu, može se reći da površina Zemlje počinje u Sjevernome polu. No, Sjeverni je pol posve obična točka na Zemlji. Nema ničeg posebnog u njoj, u i njoj vrijede isti zakoni kao i bilo gdje drugdje na Zemlji. Slično tome, događaj kojeg mi možemo odabrati i označiti kao "početak svemira u imaginarnom vremenu" bio bi jedna obična točka prostorvremena, slična bilo kojoj drugoj. Zakoni znanosti održali bi se u tom početku, kao bilo gdje drugdje.

Iz ove analogije s površinom Zemlje, može se očekivati da bi kraj svemira bio sličan početku, jednako kao što je Sjeverni pol vrlo sličan Južnome polu. Međutim, Sjeverni i Južni pol odgovaraju početku i kraju prikazivanja svemira u imaginarnom vremenu, a ne u stvarnom vremenu našeg iskustva. Ako se rezultate zbroja po prikazima ekstrapolira iz imaginarnog vremena u stvarno vrijeme, ustanovljuje se da početak svemira u stvarnome vremenu može biti vrlo različiti od njegovoga kraja.

Johathan Halliwell i ja radili smo približne izračune o tome što bi ne-granica uvjet podrazumijevao. Smatrali smo svemir za savršeno glatku i ravnomjernu pozadinu, na kojoj su se nalazili maleni poremećaji gustoće. U stvarnome vremenu, čini se da je svemir započeo širenje pri vrlo malenom polumjeru. Isprva, širenje se događalo na način što ga nazivamo inflacijski: to znači da je u sićušnome djeliću sekunde svemir udvostručio svoju veličinu, baš kao što se u nekim državama cijene udvostručuju svake godine. Svjetski rekord ekonomske inflacije vjerojatno je bila Njemačka nakon prvog svjetskog rata, kad je cijena jednog hljeba kruha za nekoliko mjeseci porasla na milijune maraka. Ali i to je ništavno u usporedbi s inflacijom koja izgleda da se dogodila u ranom svemiru:

povećanje njegove veličine za najmanje milijun milijuna milijuna milijuna puta u sićušnom djeliću sekunde. Dakako, to je bilo prije naše sadašnje vlade.

Inflacija je bila dobra stvar utoliko što je, gledano u velikim dimenzijama, proizvela gladak i ravnomjeran svemir i bila ga je širila kritičnom brzinom da se izbjegne kolaps. Inflacija je također bila dobra stvar utoliko što je proizvela sve sastojke svemira doslovno iz ničega. Kad je svemir bio jedna točka, poput Sjevernoga pola, nije sadržavao ništa. Ipak, sada je u svemiru kojeg možemo promatrati najmanje 10^{80} (jedan, iza kojeg slijedi osamdeset nula) čestica. Odakle sve te čestice? Odgovor glasi: teorija relativnosti i kvantna mehanika dopuštaju da iz energije može nastati materija u obliku čestica/antičestica parova. A odakle ta energija za stvaranje materije? Odgovor: posuđena je iz gravitacijske energije svemira. Svemir ima ogroman dug negativne gravitacijske energije, koji točno uravnotežuje pozitivnu energiju tvari. Tijekom infacijskog razdoblja svemir se teško zadužio kod svoje gravitacijske energije da bi financirao stvaranje materije. Rezultat je veliki trijumf kinsijanske ekonomije: silovit i šireći svemir, ispunjen tvarnim strukturama. Dug gravitacijske energije neće biti naplaćen sve do kraja svemira.

Svemir u početku ne bijaše potpuno ravnomjeran i jednoličan, jer to bi bilo kršenje načela neodređenosti kvantne mehanike. Umjesto toga, moralo je biti odstupanja od jednolike gustoće. Ne-granica prijedlog uključuje u sebe i to da bi ove razlike u gustoći krenule u svom temeljnom stanju; to znači, bile bi najmanje moguće, u skladu s načelom neodređenosti. Međutim, tijekom inflacijskoga širenja, razlike su se pojačavale. Nakon što je razdoblje inflacijskoga širenja završilo, ostalo se sa svemirom koji se širio na nekim mjestima neznatno brže nego na drugima. U područjima sporijeg širenja, gravitacijsko

privlačenje tvari je zatim još i dalje usporavalo širenje. Na kraju, ovo područje bi se prestalo širiti te bi se počelo stezati, oblikujući galaktike i zvijezde. Dakle, ne-granica prijedlog može objasniti sve složene tvorbe što ih vidimo u svemiru. Međutim, on nam ne daje samo jedno predviđanje za svemir. Umjesto toga, predviđa čitavu obitelj mogućih prikaza, mogućih povijesti svemira, svaki sa svojom vlastitom vjerojatnošću. Mogla bi biti moguća i vrsta svemira u kojem je Laburistička stranka pobijedila na posljednjim izborima u Britaniji (premda je ta vjerojatnost možda niska).

Ne-granica prijedlog povlači za sobom duboke posljedice na ulogu Boga u svemirskim stvarima. Dosad je naime općenito prihvaćeno da se svemir razvija po dobro određenim zakonima. Ti bi zakoni mogli biti određeni s Božje strane, a čini se da se On ne miješa u svemir tako da krši te zakone. Međutim, sve donedavno se smatralo da se ti zakoni ne odnose na početak svemira. Bilo bi dolično Bogu da navije satni mehanizam i stavi svemir u pokret na bilo koji način, kako god On to zaželi. Dakle, sadašnje stanje svemira bio bi posljedak Božjeg izbora početnih uvjeta.

Stanje bi, međutim, bilo posve drukčije ukoliko bi bilo točno nešto poput ne-granica prijedloga. U tom slučaju zakoni fizike bi se održali čak i na početku svemira, pa Bog stoga ne bi bio imao slobodu odabira početnih uvjeta. Dakako, još uvijek bi mu ostalo slobodno odabrati zakone kojima se svemir pokoravao. Međutim, i ne bi baš ostalo puno toga po izboru. Može biti samo mali broj zakona koji su u sebi dosljedni i koji vode do složenih bića poput nas, sposobnih da se pitaju: Kakva je priroda Boga.

No čak ako i postoji samo jedan jedinstveni skup mogućih zakona, to je samo neki skup jednadžbi. Što je to što je udahnulo život u jednadžbe i predalo im na

upravljanje svemir? Je li konačna jedinstvena teorija tako sastavljena da proizvede svoje vlastito postojanje. Premda znanost može riješiti problem kako je svemir započeo, ne može odgovoriti na pitanje: zašto se svemir uopće trudio nastati. Ne znam odgovor na to.

KVANTNA MEHANIKA CRNIH JAMA*

PRVIH TRIDESET GODINA ovoga stoljeća bilo je svjedokom rađanja tri teorije koje su iz temelja promijenile naše poznavanje fizike i same stvarnosti. Fizičari i dandanas nastoje istražiti njihove duboke posljedice i spojiti ove teorije u jednu cjelinu. To su specijalna teorija relativnosti (1905.), opća teorija relativnosti (1915.) i teorija kvantne mehanike (oko 1926.) Albert Einstein je najvećim dijelom odgovoran za prvu, potpuno odgovoran za drugu, a igrao je i važnu ulogu u razvoju treće. Ipak, Einstein nije nikada prihvatio kvantnu mehaniku zbog elementa slučajnosti i neodređenosti u njoj. Svoje je osjećaje glede toga skupio u često navođenu njegovu izreku

*Članak objavljen u *Scientific American*, siječanj 1977.

"Bog se ne kocka". Međutim, većina fizičara spremno je prihvatilo i specijalnu teoriju relativnosti i kvantnu mehaniku, jer su opisivale izravno opazive učinke. S druge strane, opća teorija relativnost bila je uglavnom zanemarivana, jer se činilo da je matematički previše složena, nije bila provjeriva u laboratoriju i bila je čisto klasična teorija, nespojiva s kvantnom mehanikom. Stoga je opća teorija relativnosti ostala u zavjetrini gotovo pola stoljeća.

Početak šezdesetih godina došlo je do velikog napretka na području astronomskih promatranja, što je pak potaklo oživljavanje zanimanja za klasičnu opću teoriju relativnosti, jer je izgledalo da mnoge od novih pojava koje su bile otkrivene, poput kvazara, pulsara te točkastih izvora rentgenskoga zračenja upućuju na postojanje vrlo jakih gravitacijskih polja — polja koja su se mogla opisati samo pomoću opće teorije relativnosti. Kvazari su zvjezdoliki objekti koji, budući da ih vidimo unatoč njihovoj silnoj udaljenosti (što nam pokazuju pomaci prema crvenim krajevima njihovih spektara), mora da su mnogo sjajniji od cijelih galaktika; pulsari su pak brzo trepereći ostaci eksplozija supernova i vjerujemo da su to superguste neutronske zvijezde; točkasti izvori rentgenskog zračenja, otkriveni pomoću instrumenata na svemirskim letjelicama, mogu također biti neutronske zvijezde ili možda hipotetski objekti još veće gustoće, naime crne jame.

Jedan od problema s kojima se suočavahu fizičari, koji su nastojali primijeniti opću teoriju relativnosti na ove novootkrivene ili hipotetske objekte, bio je učiniti je sukladnom s kvantnom mehanikom. Tijekom proteklih nekoliko godina bilo je u tom smislu razvojnih koraka koji su povećali nadu da nećemo morati predugo čekati do potpuno dosljedne kvantne teorije gravitacije, jedne

koja će biti u skladu s općom teorijom relativnosti za makroskopske predmete i koja će, nadamo se, biti oslobođena matematičkih beskonačnosti, kojima su druge kvantne teorije polja bile dugo, poput vragom, opsjednute. Ovi razvojni koraci moraju imati posla s nekim nedavno otkrivenim kvantnim učincima u svezi crnih jama, koji pribavljaju zamjetnu vezu između crnih jama i zakona termodinamike.

Dopustite mi da ukratko opišem kako bi mogle nastati crne jame.

Zamislimo zvijezdu deset puta masivniju od našeg Sunca. Tijekom najvećeg dijela njenog života od oko milijardu godina zvijezda će proizvoditi toplinu, u svome središtu pretvarajući vodik u helij. Oslobođena energija stvorit će dovoljan tlak za održavanje ravnoteže sa zvjezdom vlastitom gravitacijom, tako da ona opstaje kao kugla polumjera otprilike pet polumjera Sunca. Brzina bijega s površine takve neke zvijezda je oko tisuću kilometara u sekundi. To znači da će neki predmet ispaljen okomito s površine te zvijezde brzinom manjom od tisuću kilometara u sekundi biti privučen gravitacijskim poljem i vratit će se na njenu površinu, dok bi predmet veće brzine pobjegao s nje u beskonačnost.

Kad zvijezda iscrpi svoje nuklearno gorivo, nema više ničeg što bi održavalo tlaka prema van te bi se zvijezda zbog svoje vlastite sile teže započela urušavati u sebe. Kako se zvijezda steže, gravitacijsko polje na površini postaje sve jače, a poraste i brzina bijega. U trenutku kad se polumjer svede na trideset kilometara, brzina bijega porasla bi na 300.000 kilometara u sekundi, što je brzina svjetlosti. Nakon tog trenutka, nikakva svjetlost sa zvijezde ne može pobjeći s nje u beskonačnost, već je gravitacijskim poljem privučena natrag. U skladu sa specijalnom teorijom relativnosti, ništa ne može putovati

brže od svjetlosti, pa ako dakle ne može pobjeći svjetlosti ne može ni ništa drugo.

Posljedak toga bio bi crna jama: područje prostor-vremena iz kojeg ništa ne može pobjeći u beskonačnost. Granica crne jame zove se događajni obzor. On odgovara valnom frontu svjetlosti kojoj upravo ne uspijeva pobjeći prema beskonačnosti, ali ostaje lebdeći pri Schwarzschildovom polumjeru: $2 GM/\sqrt{c}$, gdje je G Newtonova konstanta gravitacije, M je masa zvijezde, a c je brzina svjetlosti. Za zvijezdu mase deset solarnih masa, Schwarzschildov polumjer iznosi oko trideset kilometara.

Sada već raspoložemo prilično dobrim opažajkim rezultatima koji nam sugeriraju da crna jama otprilike ove veličina postoji u dvojnog zvjezdanom sustavu poznatom pod imenu Cygnus X-1, a koji je izvor rentgenskog zračenja. Mogao bi također postojati i znatan broj vrlo sitnih crnih jama raspršenih širom svemirom, koje nisu nastale kolapsom zvijezda već kolapsom silno zbijenih područja u vrućem gustom mediju za kakvog se vjeruje da postojao odmah nakon Velikog praska, u kojem je nastao svemir. Takve "iskonske" crne jame su od najvećeg značaja za kvantne učinke koje ću ovdje opisati. Crna jama od oko milijardu tona (otprilike masa neke planine) imala bi polumjer oko 10^{-13} centimetara (veličina jednog protona ili neutrona), Mogla bi recimo kružiti ili oko Sunca ili oko središta galaktike.

Prvi nagovještaj da bi moglo biti neke veze između crnih jama i termodinamike došao je 1970. matematičkim otkrićem da površinsko područje događajnog obzora, granica crne jame, ima svojstvo da uvijek poraste kad dodatna nova tvar ili zračenje padnu u crnu jamu. Štoviše, ako se dvije crne jame sudare i stope, tvoreći jednu jedinu crnu jamu, područje događajnog obzora oko rezultirajuće crne jame je veće negoli zbroj područja događaj-

nih obzora oko prvobitnih crnih jama. Ova svojstva navode na to da postoji sličnost između područja događajnog obzora crne jame i pojma entropije u termodinamici. Na entropiju se može gledati kao na mjeru nereda nekog sustava ili, jednako tome, kao na nedostatak znanja o njegovom točnom stanju. Poznati drugi zakon termodinamike izriče da entropija vremenom uvijek raste.

Analogiju između svojstava crnih jama i zakona termodinamike proširili su James Bardeen sa Sveučilišta Washington, Brandon Carter koji je sada na opservatoriju Meudon, i ja. Prvi zakon termodinamike izriče da je mala promjena u entropiji nekog sustava popraćena njoj razmjernoj promjeni u energiji sustava. Faktor razmjernosti zove se temperatura sustava. Bardeen, Carter i ja našli smo sličan zakon koji povezuje promjenu mase crne jame s promjenom područja događajnog obzora. Ovdje faktor razmjernosti sadrži jednu veličinu zvanu površinska gravitacija, koja je mjera jakosti gravitacijskog polja pri događajnom obzoru. Prihvati li se da je područje događajnog obzora nešto slično entropiji, tada bismo mogli reći da je površinska gravitacija analogna temperaturi. Sličnost je pojačana činjenicom da je, kako se pokazalo, površinska gravitacija ista na svim točkama događajnog obzora, baš kao što je i temperatura ista bilo gdje u tijelu pri termičkoj ravnoteži.

Premda postoji jasna sličnost između entropije i područja događajnog obzora, nije nam bilo očito kako bi se područje moglo prepoznati kao entropija crne jame. Što bi se mislilo pod pojmom entropije crne jame? Prijelomni savjet došao je 1972. od Jacoba D. Bekensteina, koji je tada bio diplomirani student na sveučilištu Princeton, a sad je na sveučilištu Negev u Izraelu. Riječ je o ovome. Kad gravitacijskim kolapsom nastane crna jama, ona se brzo smiruje u stacionarno stanje koje je opisano sa sa-

mo tri parametra: masom, kutnim momentom i električnim nabojem. Osim ova tri svojstva, crna jama nije sačuvala nikakve druge pojedinosti o objektu koji je doživio kolaps. Ovaj zaključak poznat kao teorem "Crna jama nije dlakava", dokazan je združenim radom Cartera, Wenera Israela sa Sveučilišta Alberta, Davida C. Robinsona s Učilišta King, London, i mene.

Teorem nedlakavosti znači da je gravitacijskim kolapsom izgubljena velika količina informacija. Na primjer, konačno crnojamno stanje nezavisno je o tome je li tijelo koje se urušilo bilo od materije ili od antimaterije, je li bilo kuglasto ili posve nepravilnog oblika. Drugim riječima, crna jama neke mase, kutnog momenta i električnog naboja mogla je nastati kolapsom bilo koje od velikog broja raznih oblika tvari. Dakako, ako su zanemareni kvantni učinci, broj oblika bio bi beskonačan, budući da se crna jama bila mogla oblikovati kolapsom nekog oblaka neodređeno velikog broja čestica neodređeno malene mase.

Načelo neodređenosti kvantne mehanike podrazumijeva, međutim, da se čestica mase m ponašao kao val valne dužine h/mc , gdje je h Planckova konstanta (vrlo malen broj, $6,63 \times 10^{-34}$ džulsekundi), a c je brzina svjetlosti. Da bi se oblak čestica mogao urušiti do stanja crne jame, čini se da bi bilo nužno za ovu valnu dužinu da bude manja od veličine crne jame koja bi se oblikovala. Iz toga proizlazi da broj oblika koji bi mogli napraviti crnu jamu zadane mase, kutnog momenta i električnog naboja, premda vrlo velik, može biti konačan. Bekenstein je predložio da bi se logaritam ovog broja mogao protumačiti kao entropija crne jame. Logaritam tog broja bio bi mjera za količinu informacija koje su bile nepovratno izgubljene kroz događajni obzor tijekom kolapsa, kad je crna jama bila stvorena.

Na prvi pogled pogubna pogreška u Bekensteinovom prijedlogu bila je da ako crna jama ima konačnu entropiju koja je razmjerna području njenog događajnog obzora, ona mora također imati i konačnu temperaturu, koja bi bila razmjerna njenoj površinskoj gravitaciji. To bi značilo da crna jama treba biti u ravnoteži s termalnim zračenjem neke temperature drukčije od nule. Ali, prema klasičnim predodžbama takva ravnoteža nije moguća, budući da bi crna jama apsorbirala sve toplinsko zračenje koje je palo na nju, ali po definiciji ne bi mogla emitirati ništa natrag.

Ovaj paradoks ostao je sve do početka 1974, kad sam istraživao kakvo bi, u skladu s kvantnom mehanikom, bilo ponašanje tvari u blizini crne jame. Na moje veliko iznenađenje, ustanovio sam da crne jame izgleda da emitiraju čestice nekim stalnim tempom. Kao i svatko drugi u to doba, i ja sam prihvaćao tvrdnju da crna jama ne može ništa emitirati. Stoga sam uložio dosta napora nastojeći se izbaviti iz ovog zbunjujućeg nalaza. Na kraju sam ga morao prihvatiti. Ono što me konačno uvjerilo da je to stvarni fizički proces bilo je da izlazeće čestice imaju spektar koji je točno toplinski; crna jama stvara i emitira čestice kao kad bi bila obično toplo tijelo temperature koja je razmjerna površinskoj gravitaciji i obrnuto razmjerna masi. Time je Bekensteinov prijedlog da crna jama ima konačnu entropiju postao potpuno uskladiv, budući da je podrazumijevao da je crna jama u termičkoj ravnoteži na nekoj konačnoj temperaturi različitoj od nule.

Od tog vremena, mnogi su drugi ljudi, služeći se raznim drugačijim pristupima, potvrdili taj matematički dokaz da crne jame mogu emitirati toplinsko zračenje. Jedan od načina za razumijevanje te emisije ćemo sada iznijeti. Kvantna mehanika izriče da je cjelokupni pro-

stor ispunjen parovima "virtualnih" čestica i antičestica koje se stalno materijaliziraju u parovima, razdvajaju i zatim opet spajaju, poništavajući jedna drugu. Ove se čestice zovu virtualne jer se, za razliku od "stvarnih" čestica, ne mogu izravno zamijetiti detektorima čestica. Njihovi neizravni učinci mogu se ipak mjeriti, a njihovo postojanje bilo je potvrđeno po sitnom pomaku ("Lambov pomak") što ga izazivaju u spektru svjetlosti iz pobuđenih vodikovih atoma. I sad, u prisustvu neke crne jame može jedan član para virtualnih čestica pasti u jamu, ostavljajući drugog člana bez partnera potrebnog za anihilaciju. Napuštena čestica ili antičestica može također pasti u crnu jamu nakon svog partnera, ali također može i pobjeći u beskonačnost, pri čemu će vanjskom promatraču izgledati kao zračenje što ga emitira crna jama.

Drugi način razmatranja ovog procesa je smatrati onog člana para čestica koji pada u crnu jamu — recimo antičesticu — kao da je ona stvarno jedna čestica koja putuje unatrag kroz vrijeme. Dakle, antičestica padajuća u crnu jamu može se smatrati za česticu izlazeću iz crne jame, ali kao putujuću unatrag kroz vrijeme. Kad čestica dosegne točku u kojoj se par čestica-antičestica prvobitno materijalizirao, raspršena je gravitacijskim poljem tako da putuje naprijed kroz vrijeme.

Kvantna mehanika dakle dopušta čestici bijeg iz unutrašnjosti crne jame, što je nešto nedopušteno u klasičnoj mehanici. Postoje, međutim, mnoge druge situacije u atomskoj i nuklearnoj fizici gdje imamo posla s nekom vrstom barijere, zapreke koju čestica prema klasičnim načelima ne bi mogla probiti, no prema kvantnomeha-ničkim načelima one su u stanju probiti kroz nju tunel.

Debljina ove barijere oko crne jame razmjerna je veličini crne jame. To znači da rijetko koja čestica može pobjeći s tako velike crne jame kao ona za koju pretpo-

stavljamo da postoji u Cygnus X-1, no čestice mogu vrlo brzo istjecati iz manjih crnih jama. Detaljni izračuni pokazuju da emitirane čestice imaju toplinski spektar odgovarajuće temperature, koja brzo raste kako masa crne jame opada. Za crnu jamu mase Sunca, temperatura je samo oko jedne desetmilijuntinke stupnja iznad apsolutne nule. Toplinsko zračenje koje napušta crnu jamu te temperature bilo bi potpuno preplavljeno općom podlogom zračenja u svemiru. S druge strane, crna jama mase od samo milijardu tona — to jest neka iskonska crna jama otprilike veličine protona — imala bi temperaturu od oko 120 milijardi Kelvina, što odgovara energiji od oko deset milijuna elektronvolti. Pri takvoj temperaturi, crna bi jama mogla stvarati elektron-pozitron parove i čestice mase nula, kakvi su fotoni, neutrimi i gravitoni (pretpostavljeni nosači gravitacijske energije). Jedna takva iskonska crna jama isijavala bi energiju snagom od 6000 megavata, što je jednako izlaznoj snazi šest velikih nuklearnih elektrana.

Kako crna jama zrači čestice, njezina masa i veličina stalno opadaju. Time sve većem broju čestica postaje lakše probijanje barijere te će se emisija nastaviti ubrzavajućim iznosom, sve dok na kraju crna jama ne izzrači sebe cijelu i prestane postojati. Gledano na dugi rok, svaka crna jama u svemiru isparit će na ovaj način. Međutim, za velike crne jame je vrijeme potrebno za to ipak vrlo dugo; crna jama mase Sunca potrajat će 10^{66} godina. S druge strane, neka iskonska crna jama bi trebala gotovo potpuno ispariti za desetak milijardi godina, koliko je proteklo od Velikoga praska, početka svemira kakvog znamo. Takve crne jame sada bi zračile tvrde gama zrake energije oko 100 milijuna elektronvolti.

Izračuni Dona N. Pagea (tada na Kalifornijskom institutu za tehnologiju) i mene, temeljeni na mjerenjima

kozmičkog pozadinskog gama-zračenja što ih prikupio satelit SAS-2, pokazuju da prosječna gustoća iskonskih crnih jama u svemiru mora biti manja od oko 200 njih po kubičnoj svjetlosnoj godini. Lokalna gustoća u našoj Galaktici mogla bi biti milijun puta viša od te brojke, ako bi iskonske crne jame bile koncentrirane u "halou" Galaktike — tankom oblaku zvijezda kojim je svaka galaktika opkoljena — umjesto da su ravnomjerno raspršene širom svemira. To bi značilo da je iskonska crna jama najbliža Zemlji vjerojatno najmanje toliko daleko od nas koliko je daleko planet Pluton.

Završna faza nestajanja crne jame odigravala bi se tako brzo da bi završila u silnoj eksploziji. Koliko bi ta eksplozija bi jaka zavisilo bi od toga koliko različitih vrsta elementarnih čestica postoji. Ako su sve čestice napravljene od samo šest različitih varijeteta kvarkova, kao što se danas uglavnom smatra, konačna eksplozija bila bi energije jednake eksploziji deset milijuna jednomegatons-kih hidrogenskih bombi. S druge strane, R. Hagedorn iz CERN-a (Europske organizacija za nuklearna istraživanja kod Ženeve) predlaže drugu teoriju prema kojoj postoji beskonačan broj elementarnih čestica sve veće i veće mase. Kako bi crna jama postajala manja i toplija, emitirala bi sve veći i veći broj raznih vrsta čestica i proizvela bi eksploziju možda 100.000 puta silniju od one izračunate na temelju sadašnje kvarkove hipoteze. Stoga bi promatranje crnojamske eksplozije pribavilo vrlo važne informacije o fizici elementarnih čestica, informacije koje se ne bi mogle pribaviti ni na koji drugi način.

Crnojamska eksplozija proizvela bi golemu provalu visokoenergetskih gama-zraka. Premda se one mogu zamijetiti pomoću detektora gama-zraka na satelitima ili balonima, bilo bi teško podići u zrak ili u svemir detektor dovoljno velik da se nekom prihvatljivom vjerojat-

nošću možemo nadati hvatanju znatnog broja fotona gama-zraka od jedne eksplozije. Jedna od mogućnosti bila bi upotrijebiti raketoplan za gradnju velikog detektora gama-zraka na stazi oko Zemlje. Lakša i mnogo jeftinija alternativa tomu bila bi poslužiti se visokim slojevima Zemljine atmosfere kao detektorom. Visokoenergetska gama-zraka pri prolasku kroz atmosferu stvara kišu elektron-pozitron parova, koji će u početku putovati kroz atmosferu brže negoli što to može putovati svjetlost. (Svjetlost je usporena međudjelovanjem s molekulama zraka.) Elektroni i pozitroni će stoga izazvati neku vrstu probijanja "zvučnog zida", ili udarni val, u elektromagnetskom polju. Takav udarni val, zvan Čerenkov efekt, može se otkriti s tla kao bljesak vidljive svjetlosti.

Neki prethodni pokusi Neila A. Portera i Trevora C. Weeksa upućuju na to da ako crne jame eksplodiraju na način kako to predviđa Hagedornova teorija, u našem području Galaktike bi se manje od dvije crnojamske eksplozije dogodile jednom na stoljeće u svakoj kubičnoj svjetlosnoj godini. To bi značilo da je gustoća iskonskih crnih jama manja od 100 milijuna po jednoj kubičnoj svjetlosnoj godini. Bilo bi moguće bitno poboljšati osjetljivost opažачkih uređaja. Čak i ako sve to ne bi donijelo neki pozitivni dokaz o postojanju iskonskih crnih jama, podaci bi bili vrlo vrijedni. Postavljanjem neke niske gornje granice za gustoću tih crnih jama, promatranja će ukazati na to da je mladi svemir morao biti vrlo gladak i neuzburkan.

Veliki prasak je nalik crnojamskoj eksploziji, ali u mnogo većim razmjerima. Stoga se nadamo da će razumijevanje načina kako crne jame stvaraju čestice voditi prema sličnom razumijevanju načina na koji je Veliki prasak stvorio sve što postoji u svemiru. U crnoj jami, materija se urušava i zauvijek je izgubljena, ali na nje-

nom mjestu je stvorena nova materija. Može stoga biti da je postojala neka još ranija faza svemira u kojoj se materija urušila u sebe, doživjela kolaps, da bude zatim ponovno stvorena u Velikom prasku.

Ako materija koja se urušava u sebe, tvoreći crnu jamu, ima ukupni električni naboj veći od nule, i nastala crna jama će nositi isti naboj. To znači da će crna jama nastojati privući one članove virtualnih čestica-antičestica parova koji imaju suprotni naboj, a odbijati će one istoga naboja. Crna jama će dakle više emitirati čestice s nabojem istog predznaka kakvog je ona, pa će tako brzo gubiti svoj naboj. Slično tome, ako je kolabirajuća materija imala neki kutni moment, nastala crna jama bit će rotirajuća crna jama i težiti će emitirati čestice koje odnose kutni moment. Razlog zašto se crna jama "sjeća" električnog naboja, kutnog momenta i mase materije čijim kolapsom je nastala, a "zaboravlja" sve drugo jest taj što su ove tri veličine povezane s poljima dugoga doseg: naboj s elektromagnetskim poljem, a kutni moment i masa s gravitacijskim poljem.

Pokusi što su ih izveli Robert H. Dicke sa Sveučilišta Princeton i Vladimir Braginski s Moskovskog Državnog Sveučilišta ukazali su na to da ne postoji polje dugog doseg udruženo s kvantnim svojstvom određenim barionskim brojem. (Barioni su razred čestica koji uključuje protone i neutrone.) Stoga bi crna jama, stvorena kolapsom skupa bariona, zaboravila njihov barionski broj i zračila jednake količine bariona i antibariona. Prema tome, kad bi crna jama nestajala, ona bi time kršila jedan od najpoštovanijih zakona fizike čestica, zakon o sačuvanju barionskog broja.

Premda Bekensteinova hipoteza o konačnoj entropiji crne jame zbog svoje dosljednosti zahtijeva da crne jame trebaju zračiti toplinu, u početku je izgledalo kao

potpuno čudo da bi iscrpni kvantnomehanički izračuni, provedeni za stvaranje čestica, davali emisiju s toplinskim spektrom. Objašnjenje je da se emitirana čestica probija tunelom van iz crne jame, iz područja o kojem vanjski promatrač ne zna ništa drugo osim mase, kutnog momenta i električnog naboja crne jame. To znači da su sve veze ili oblici emitiranih čestica koje imaju istu energiju, kutni moment i električni naboj jednako vjerojatne. Dapače, postoji vjerojatnost da crna jama emitira neku televizijsku seriju ili sabrana djela Prousta u deset knjiga u kožnom uvezu, ali broj oblika čestica koje bi odgovarale ovako egzotičnim mogućnostima je ništavno malen. Daleko najveći broj oblika odgovara emisiji spektra koji je u velikoj mjeri toplinski.

Emisija iz crnih jama ima i jedan dodatni stupanj neodređenosti ih nepredvidivosti, preko i iznad one uobičajeno povezane s kvantnom mehanikom. U klasičnoj mehanici mogu se predvidjeti rezultati mjerenja i položaja i brzine čestice. U kvantnoj mehanici načelo neodređenosti izriče da se mogu polučiti rezultati samo jednog od ovih mjerenja; promatrač može dobiti rezultate mjerenja ili položaja ili brzine, ali ne obojega. Prema izboru, može dobiti rezultat mjerenja neke kombinacije položaja i brzine. Dakle, promatračeva sposobnost izrade točnih predviđanja je prepolovljena. S crnim jamama je stanje još i gore. Budući da čestice emitirane iz crne jame dolaze iz područja o kojem promatrač ima vrlo malo znanja, on ne može jasno pretkazati položaj ili brzinu čestice ili bilo koju kombinaciju toga dvoga; sve što može pretkazati jesu vjerojatnosti da će neke čestice biti emitirane, čini se dakle da je Einstein bio dvostruko u krivu kad je rekao "Bog se ne kocka". Razmatranje emisije čestica iz crne jame čini se da nam ukazuje na to da Bog ne samo da se kocka već to čini i ondje gdje ga nitko ne može vidjeti.

CRNE JAME I DJETEŠĆA- SVEMIRI*

PAD u CRNU JAMU postao je prava strava u znanstvenoj fantastici. U stvari, za crne jame se sada može reći da su prije stvarna tema znanosti negoli znanstvene fantastike. Kao što ću opisati, postoje dobri razlozi za predviđanje da crne jame postoje, a promatrački dokazni materijal snažno upire prstom u prisustvo izvjesnog broja crnih jama u našoj Galaktici te više u drugim galaktikama.

Dakako, ono u čemu pisci znanstvene fantastike dolaze na svoje je što se događa ako padnete u crnu jamu. Opći je prijedlog da ako je crna jama rotirajuća, možete upasti kroz malu jamu u prostorvremenu te ispasti van u drugom području svemira. To očito nudi velike moguć-

*Predavanje održano u travnju 1988. na Kalifornijskom sveučilištu.

nosti za svemirska putovanja. Dapače, nešto takvoga bismo zaista trebali ukoliko u nekoj budućnosti namjeravamo putovati na druge zvijezde, a pogotovo na druge galaktike. U protivnom, činjenica da ništa ne može putovati brže od svjetlosti znači da bi putovanje do najbliže zvijezde i natrag trajalo najmanje osam i pol godina. Toliko glede vikenda na Alfa Centauri! S druge strane, kad bi se moglo proći kroz crnu jamu, mogli bi se izroniti bilo gdje u svemiru. No kako izabrati naše odredište, nije baš posve jasno: možete krenuti na praznike u Virgo, a završiti u Crab maglici.

Žao mi je razočarati perspektivne galaktičke turiste, ali stvar ne radi: Skočite li u crnu jamu, bit ćete rastrgani i istisnuti iz postojanja. Međutim, u izvjesnom smislu, čestice koje sačinjavaju vaše tijelo nastavit će u drugi svemir. Ne znam bi li nekome tko će u crnoj jami biti pretvoren u špagete bila neka utjeha ako zna da njegove čestice mogu preživjeti.

Unatoč neumjesno neuljudnom tonu kakvog sam upotrijebio, ovaj esej je utemeljen na čistoj znanosti. S većinom onoga što ovdje kažem sad vlada veliki stupanj slaganja među istraživačima koji se bave tim područjem, premda je to tako tek odnedavno. Međutim, posljednji dio eseja temelji se na najnovijim radovima oko kojih ne postoji, barem ne zasad, opća suglasnost. No upravo ovo potonje izaziva najveće zanimanje i uzbuđenje.

Premda poimanje onog što danas zovemo crna jama seže unatrag više od dvjesto godina, sam naziv *crna jama* uveo je američki fizičar John Wheeler tek 1976. Već je samo ime takvo da mu je osigurano mjesto u mitologiji znanstvene fantastike. Ono je također potaknulo znanstveno istraživanje, dajući jasno i najtočnije ime za nešto što ranije nije imalo zadovoljavajuću etiketu. Ne bi trebalo potcijenjivati važnost dobrog imena u znanosti.

Koliko je meni poznato, prva osoba koja je raspravljala o crnim jama bijaše čovjek imena John Michell s Cambridgea, koji je još 1783. napisao rad o tome. Njegova zamisao je bila ova: Zamislimo ispaljenje topovske kugle okomito uvis s površine Zemlje. Kako se kugla uspinje tako se i zbog sile teže usporava. Na kraju se kugla zaustavlja i počinje padati natrag na Zemlju. Međutim, ako smo je ispalili s nekom graničnom brzinom, kugla se neće nikad prestati uspinjati niti pasti natrag već će se nastaviti gibati sve dalje od Zemlje. Ova granična brzina nazvana je brzina bijega. Ona za Zemlju iznosi oko jedanaest kilometara u sekundi, a za Sunce oko sto šezdeset kilometara u sekundi. Obje ove granične brzine veće su od brzine stvarne topovske kugle, ali su mnogo manje od brzine svjetlosti, koja je 300.000 kilometara u sekundi. To znači da gravitacija ne utječe na svjetlost; svjetlost može bez problema pobjeći sa Zemlje ili sa Sunca. Međutim, Michell je umovao kako bi bilo moguće imati neku zvijezdu koja bi bila dovoljno masivna i dovoljno malenog polumjera da brzina bijega s nje bude veća od brzine svjetlosti. Mi ne bismo bili u stanju vidjeti tu zvijezdu, jer do nas ne bi stigla svjetlost s njene površine; bila bi privučena natrag gravitacijskim poljem zvijezde. Ipak, mogli bismo otkriti prisutnost zvijezde neizravno po učincima što ih njeno gravitacijsko polje čini na okolnu tvar.

Nije baš prikladno gledati na svjetlost kao na neku brzu topovsku kuglu. Naime, prema pokusu provedenom 1897. svjetlost putuje uvijek istom brzinom. Kako onda gravitacija može usporiti svjetlost? Dosljedne teorije o tome kako gravitacija djeluje na svjetlost nije bilo sve do Einsteinove opće teorije relativnosti 1915. godine. No unatoč nje, sve do šezdesetih godina nisu se šire uvidjele važne posljedice te teorije na stare zvijezde i druga masivna tijela.

Prema općoj teoriji relativnosti, za prostor i vrijeme može se reći da zajedno čine četverodimenzioni prostor, nazvan prostorvrijeme.

Taj prostor nije ravan; zakrivljen je, deformiran materijom i energijom u njemu. Tu zakrivljenost zamjećujemo u savijanju zrake svjetlosti ili radiovala koji prolaze pokraj Sunca na putu do nas. Za slučaj svjetlosti koja prolazi pokraj Sunca, to savijanje je vrlo slabo. Međutim, kad bi se Sunce skvrčilo u kuglu promjera nekoliko kilometara, savijanje bi bilo tako jako da svjetlost koja napušta Sunce ne bi stigla otići s njega već bi gravitacijskim poljem Sunca bila privučena natrag. Prema teoriji relativnosti, ništa ne može putovati brže od brzine svjetlosti pa bi stoga postojala područja iz kojih ništa ne može pobjeći. To se područje zove crna jama. Granica područja se zove događajni obzor. Njega oblikuje svjetlost kojoj upravo ne uspijeva otići iz crne jame već stoji lebdeći na rubu.

Predodžba da bi se Sunce moglo skvrčiti na samo nekoliko kilometara u promjeru može zvučiti smiješno. Netko može pomisliti da tvar ne može biti tako silno zbijena. Ali pokazalo se da ipak može.

Sunce je veličine kakve je zato jer je tako vruće. Ono pretvara vodik u helij, kao u nekoj kontroliranoj H-bombi. Toplina oslobođena tim postupkom (fuzijom) stvara tlak kojim se vanjski slojevi Sunca odupiru gravitacijskim klijestima sveukupne Sunčeve tvari, koja se nastoji sabiti u što manji volumen.

Ipak, na kraju, Sunce će istrošiti svoje nuklearno gorivo. To se neće dogoditi još oko pet milijardi godina, stoga još nema hitnje za kupnju karte za let do druge zvijezde. Međutim, zvijezde masivnije od Sunca trošit će svoje nuklearno gorivo mnogo brže. Kad ga potroše, gubit će toplinu i početi se stezati. Ako im je masa manja

od dvije mase Sunca, stezanje će se na kraju zaustaviti i one će se smiriti u nekom stabilnom stanju. Jedno takvo stanje zove se bijeli patuljak. Polumjeri bijelih patuljaka iznose nekoliko tisuća kilometara, a gustoća im je desetke tona po kubičnom centimetru. Drugo takvo stanje je neutronska zvijezda. One imaju polumjer od dvadesetak kilometara, a gustoću stotinjak tisuća tona po kubičnom centimetru.

Poznato nam je da u našem bližem susjedstvu u Galaktici postoji velik broj bijelih patuljaka. Neutronske zvijezde pak nisu bile zamijećene sve do 1967., kad su Jocelyn Bell i Antonv Hewish s Cambridgea otkrili objekte nazvane pulsari, a koji su emitirali pravilne pulseve radiozračenja. U početku, palo im je na pamet da su možda otkrili signale izvanzemaljske civilizacije; štoviše, sjećam se da je seminarska soba u kojoj su objavili svoje otkriće bila ukrašena likovima "malih zelenih ljudi". Međutim, na kraju su oni i svi ostali došli do manje romantičnog zaključka da su ti objekti tek rotirajuće neutronske zvijezde. Bile su to loše vijesti za pisce svemirskih krimića, ali dobre vijesti za malen broj nas koji su u to doba vjerovali u postojanje crnih jama. Ako se zvijezde mogu skvrčiti na veličinu od nekoliko desetaka kilometara i tako postati neutronske zvijezde, za očekivati je da će se druge zvijezde stegnute još i više i postati crne jame.

Zvijezda mase veće od dvije mase Sunca ne može se smiriti do stanja bijelog patuljka ili neutronske zvijezde. U nekim slučajevima, zvijezda može eksplodirati te odbaciti od sebe dovoljno materije da joj masa padne ispod te granice. Ali to se ne bi dogodilo u svim slučajevima. Neke će zvijezde postati tako malene da će njihova gravitacijska polja toliko saviti svjetlost da će se ona vraćati prema zvijezdi. Više nikakva svjetlost ili bilo što drugo neće moći pobjeći. Zvijezde će postati crne jame.

Zakoni fizike su vremensko-simetrični. Stoga, ako postoje objekti zvani crne jame, u koje stvari mogu pasti ali ne i izaći van, trebaju postojati drugi objekti kod kojih stvari mogu izaći van, ali ne i pasti unutra. Takve bismo mogli nazvati bijele jame. Moglo bi se špekulirati o tome da bi se moglo skočiti u neku crnu jamu na jednom mjestu i izaći van iz bijele jame na drugom mjestu. To bi bio savršen način, već ranije spomenut, svemirskih putovanja na dulje pruge. Sve što bi vam bilo potrebno bilo bi naći neku obližnju crnu jamu.

U prvi tren, ovakav oblik svemirskih putovanja izgledao je moguć. U jednadžbama Einsteinove opće teorije relativnosti postoje rješenja po kojima je moguće pasti u neku crnu jamu i izaći na neku bijelu jamu. Međutim, kasniji radovi pokazuju da su sva ova rješenja vrlo nestabilna: i najmanji poremećaj, kakav je recimo prisustvo nekog svemirskog broda, razorio bi "crvotočinu" ili prolaz, koji vodi iz crne jame k bijeloj jami. Svemirski brod bi bio rastrgan beskonačno jakim silama. Bilo bi to nalik spuštanju u bačvi niz Niagaru.

Nakon toga, sve se činilo beznadnim. Crne jame bi mogle biti od koristi da se oslobodite smeća ili da se riješite nekog svog prijatelja. Ali one su bile zemlja "iz koje se nijedan putnik ne vraća". Međutim, sve što sam bio rekao dosad bilo je utemeljeno na izračunima po Einsteinovoj općoj teoriji relativnosti. Ova je teorija u izvrsnom suglasju sa svim promatračkim podacima. Ali znamo da ne može biti u potpunosti točna, jer ne uključuje u sebi načelo neodređenosti kvantne mehanike. Načelo neodređenosti izriče da čestice ne mogu imati i točno poznat položaj i točno poznatu brzinu. Što točnije se izmjeri položaj neke čestice, to se manje točno može izmjeriti njena brzina, i obratno.

Godine 1973. započeo sam istraživati što bi za crne

jame značilo načelo neodređenosti. Na veliko iznenađenje moje i svih drugih, ustanovio sam da je ona značila da crne jame nisu potpuno crne. Trebale bi stalnim tempom emitirati zračenje i čestice. Kad sam rezultate objavio na jednoj konferenciji u blizini Oxforda, dočekani su općom nevjericom. Predsjedatelj konferencije rekao je da su besmisleni, a u tom smislu je napisao i rad. Međutim, kad su drugi ljudi ponovili moje izračune, došli su do istih rezultata. Tako se, na kraju, s njima složio i spomenuti predsjedatelj.

Kako zračenje može pobjeći iz gravitacijskog polja crne jame? Ima više načina kako se to može shvatiti. Premda svi oni izgledaju vrlo različiti, svi su oni zapravo jednakoznačni. Jedan od načina je predstaviti si da načelo neodređenosti dopušta česticama putovati na kratke udaljenosti brže od svjetlosti. To čestici i zračenju omogućava prolazak kroz događajni obzor i bijeg iz crne jame. Prema tome, stvari mogu izaći iz crne jame. Međutim, ono što izlazi iz crne jame bit će drukčije od onog što je palo u nju. Ista će biti samo energija.

Kako crna jama odašilje čestice i zračenje, tako će i gubiti na masi. Stoga će crna jama postajati sve manja te će odašiljati čestice sve brže. Na kraju, past će na masu nula i potpuno nestati. Što će se tada dogoditi predmetima, uključivo recimo svemirski brod, koji su bili pali u crnu jamu? Prema nekim mojim posljednjim radovima, odgovor glasi: oni će provaliti u neki maleni vlastiti djetesce-svemir. Neki mali, samosvojni svemir, izdanak koji se izdvaja iz našeg svemira. Ovaj djetesce-svemir može se ponovno priključiti našem području prostorvremena. Učini li to, pojavit će nam se kao neka druga crna jama, koja se oblikovala i zatim nestajala. Čestice koje su upale u jednu crnu jamu pojavile bi se kao čestice emitirane iz druge crne jame, i obratno.

Ovo zvuči baš kao plan koji će omogućiti svemirska putovanja kroz crne jame. Samo usmjerite svoj svemirski brod u neku prikladnu crnu jamu. Doduše, bolje je uzeti jedno poveću, jer će vas inače gravitacijske sile razvući u špagete prije negoli uđete unutra. Mogli biste se tada nadati da ćete se pojaviti van iz neke druge jame, premda vam ne bi bilo moguće odabrati gdje.

Međutim, ovakav način intergalaktičkog putovanja ima jednu kvaku. Djetešca-svemiri, koji uzimaju sebi čestice što upadaju u crnu jamu, događaju se u vremenu kojeg nazivamo imaginarno vrijeme. U stvarnom vremenu, astronaut koji bi pao u crnu jamu imao bi tužan kraj. Bio bi rastrgan razlikom sila gravitacije na njegovu glavu i njegova stopala. Ne bi preživjele čak ni čestice od kojih je njegovo tijelo sazdano. Njihovi prikazi bi u stvarnom vremenu završili u singularnosti. Ali životopisi čestica nastavili bi se u imaginarnom vremenu. One bi prošle u djetešce-svemir i izronile bi u naš svemir kao čestice emitirane iz neke druge crne jame. Dakle, u izvjesnom smislu, astronaut bi doista bio prebačen u drugo područje svemira. Ipak, čestice koje bi se pojavile i ne bi baš bile mnogo slične našem astronautu. Također, saznanje da će njegove čestice preživjeti u imaginarnom vremenu neće mu biti baš neka utjeha kad dospije u singularnost stvarnog vremena. Moto za svakoga tko pada u crnu jamu mora biti: "Misli imaginarno."

Što određuje gdje će čestice opet izroniti? Broj čestica u djetešcu-svemiru bit će jednak broju čestica koje su upale u crnu jamu, plus broj čestica što ih je crna jama isijavala tijekom svog isparavanja. To znači da će čestice što upadaju u jednu crnu jamu izaći iz druge jame otprilike iste mase. Dakle, može se pokušati izabrati mjesto gdje će čestice izroniti tako da se napravi neka crna jama iste mase kao i ona u koju čestice siđoše. Međutim,

crna jama bi jednako vjerojatno isijavala neki drugi skup čestica iste ukupne energije. Čak i ako je crna jama emitirala točne vrste čestica, ne bi se moglo reći jesu li to doista one iste čestice koje su sišle u drugu crnu jamu. Čestice ne nose sa sobom osobne iskaznice; sve čestice određene vrste izgledaju isto.

Sve ovo znači da se prolaz kroz crnu jamu vjerojatno neće pokazati kao privlačan i pouzdan način svemirskih putovanja. Prije svega, morali biste uspjati putovati u imaginarnom vremenu i ne brinuti o tome da je vaš prikaz u stvarnom vremenu došao do gadnog kraja. Drugo, doista ne biste mogli birati određište. To vam je kao da letite s nekim zrakoplovnim kompanijama, koje bih mogao imenovati.

Premda djetešca-svemiri baš ne bi bili od koristi za međuzvezdana putovanja, imaju važne duboke posljedice za naše nastojanje u iznalaženju potpune jedinstvene teorije koja će opisati sveukupnost svemira. Naše sadašnje teorije sadrže neki broj veličina, poput električnog naboja na nekoj čestici. Vrijednosti ovih veličina se pomoću naših teorija ne mogu predvidjeti. Umjesto toga, moraju biti izabrane tako da se slažu s promatranjima. Većina znanstvenika smatra, međutim, da postoji neka sadržajna jedinstvena teorija koja će predvidjeti vrijednosti svih tih veličina.

Možda takva jedna teorija doista i postoji. Najjači kandidat za nju ovog trenutka nazvan je heterotska superstruna. Zamislja se da je prostorvrijeme ispunjeno malim petljama, poput komada konaca ili struna. Ono o čemu mi mislimo kao o elementarnim česticama zapravo su te sitne petlje, titrajući na različite načine. Ova teorija ne sadrži neke brojeve čije vrijednosti se mogu podešavati. Stoga bi se očekivalo da ova teorija omogući predvidjeti sve vrijednosti veličina, poput električnog naboja na

čestici, koje su u sadašnjim teorijama ostajale neodređene. Unatoč tomu što iz teorije superstrune još uvijek nismo u stanju predvidjeti neku od tih veličina, mnogi ljudi smatraju da će nam na kraju to uspjeti.

Međutim, ako je ova predodžba djetesca-svemira točna, bit će umanjena naša sposobnost predviđanja tih veličina. Razlog tome je što ne možemo promatrati koliko mnogo tih djetesca-svemira postoji izvan našeg, čekajući da se priključi na naše područje svemira. Mogu postojati djetesca-svemiri koji sadrže svega nekoliko čestica. Ovi djetesca-svemiri su tako sitni da se ne bi ni zamijetilo njihovo priključivanje odnosno odvajanje. Priključujući nam se, međutim, oni će promijeniti prave vrijednosti veličina, kakva je na primjer električni naboj na čestici. Prema tome, nećemo moći predvidjeti što će biti prave vrijednosti ovih veličina, jer ne znamo koliko mnogo djetesca-svemira čeka tamo vani. Mogla bi biti populacijska eksplozija djetesca-svemira. Međutim, za razliku od ljudske populacijske eksplozije, čini se da kod svemira nema ograničavajućih čimbenika poput hrane ili životnog prostora. Djetesca-svemiri postoje u carstvu sebe samih. Koliko ih ima je pitanje poput pitanja koliko anđela može plesati na vršku igle.

Za najveći broj veličina, djetesca-svemiri izgleda uvode neki određeni, premda vrlo maleni, iznos neodređenosti u predviđenim vrijednostima. Međutim, oni mogu pružiti objašnjenje opažene vrijednosti jedne vrlo važne veličine: takozvane kozmološke konstante. To je član u jednadžbama opće relativnosti koji prostorvremenu daje ugrađenu težnju ka širenju ili skupljanju. Einstein je prvotno predložio vrlo malu kozmološku konstantu, poništavajući njome težnju materije da steže svemir. Ovaj je razlog nestao kad je otkriveno da se svemir širi. Ali nije bilo tako lako riješiti se te kozmološke konstante.

Može se očekivati da će fluktuacije što ih podrazumijeva kvantna mehanika dati kozmološku konstantu koja je vrlo velika. Ipak, možemo promatrati kako se širenje svemira mijenja vremenom te stoga odrediti da je kozmološka konstanta vrlo mala. Sve do sada, nije bilo dobrog objašnjenja zašto bi opažena vrijednost bila tako mala. Međutim, odvajanja i pripajanja djetesca-svemira imat će utjecaja na pravu vrijednost kozmološke konstante. Budući da ne znamo koliko ima djetesca-svemira, bit će i raznim mogućih vrijednosti za stvarnu kozmološku konstantu. Ipak, gotovo nulta vrijednost bila bi daleko najvjerojatnija. To je povoljno, jer samo ako je vrijednost kozmološke konstante vrlo mala, svemir je pogodno mjesto za bića poput nas.

Rezimirajmo: Čini se da čestice mogu pasti u crne jame koje zatim isparuju odnosno nestaju iz našeg područja svemira. Čestice provaljuju u djetesca-svemire koji se odvajaju iz našeg svemira. Ova djetesca-svemiri mogu se priključiti natrag našem svemiru negdje drugdje. To baš možda nije dobro za svemirska putovanja pomoću crnih jama, ali postojanje djetesca-svemira znači da ćemo biti u stanju slabije predviđati, čak i ukoliko pronađemo potpunu jedinstvenu teoriju. S druge strane, možemo biti u mogućnosti pružiti objašnjenja za izmjerene vrijednosti nekih veličina, poput kozmološke konstante. Tijekom posljednjih nekoliko godina mnogi ljudi su započeli istraživanja na temu djetesca-svemira. Ne mislim da će se netko od njih obogatiti patentirajući s njima način međuzvezdanih putovanja, ali oni su postali vrlo uzbudljivo područje istraživanja.

JE LI SVE ODREĐENO?*

U PREDSTAVI *Julije Cezar* kaže Kasije Brutu: "Ljudi su u nekim trenucima gospodari svojih sudbina." Ali, jesmo li stvarno gospodari naših sudbina? Ili je sve što činimo određeno i predodređeno? Upotrebljavani dokaz za to je da je Bog svemoćan i izvan vremena, dakle Bog zna što se treba dogoditi. Ali kako bismo mi u tom slučaju mogli imati bilo kakvu slobodnu volju? A ako nemamo slobodnu volju, kako možemo biti odgovorni za naše djelovanje? Teško da može biti kriv čovjek kojeg je sudbina predodredila da opljačka banku. Zašto bi ga se onda za to kažnjavalo?

U posljednje vrijeme, dokaz za determinizam počeo

*Predavanje održano na seminaru Sigma kluba pri Sveučilištu Cambridge, travanj 1990.

se temeljiti na znanosti. Čini se da postoje dobro određeni zakoni koji upravljaju razvojem svemira i svega u njemu. Premda još nismo našli točan oblik svih tih zakona, znamo već dovoljno da bismo odredili što će se dogoditi u svim osim u najekstremnijim prilikama. Mišljenja se razilaze po pitanju hoćemo li u nekoj, ne predalekoj budućnosti, naći preostale zakone. Ja sam optimist: mislim da su izgledu 50:50 da ćemo ih naći tijekom sljedećih dvadeset godina. No čak i ako ne, to za dokaz determinizma neće ništa značiti. Glavna stvar je da bi trebao postojati skup zakona koji potpuno određuju razvoj svemira iz njegovog početnog stanja. Zakone je možda bio predodredio Bog. No čini se da se On (ili Ona) ne miješa više u poslove svemira tako da krši te zakone.

Početni oblik svemira možda je bio Bogom izabran, ili je možda sam sebe odredio zakonima znanosti. U oba slučaja, izgledalo bi da je sve u svemiru dalje bilo određeno razvojem u skladu sa zakonima znanosti, pa je teško vidjeti kako možemo biti gospodari naše sudbine.

Zamisao da postoji neka velika jedinstvena teorija koja određuje sve u svemiru izaziva mnoge poteškoće. Prije svega, velika jedinstvena teorija je vjerojatno u matematičnom obliku čvrsta i elegantna. Teorija svega morala bi biti nešto posebno i jednostavno. Ali kako može neki broj jednadžbi objasniti svu složenost i beznačajne pojedinosti što ih vidimo oko nas? Može li se doista povjerovati da je velika jedinstvena teorija odredila da će Sinead O'Connor voditi na top listi ovtjednih hitova ili da će Madonna biti na naslovnoj stranici *Cosmopolita-*

Drugi problem s idejom da je sve utvrđeno velikom jedinstvenom teorijom je to da što god mi rekli, također je određeno tom teorijom. Ali zašto bi bilo određeno da to bude točno? Zar nije vjerojatnije da bude pogrešno,

budući da ima mnogo mogućih netočnih izjava za svaku jednu istinitu. Svakoga tjedna, moja pošta sadrži neki broj teorija koje mi ljudi šalju. Sve se one razlikuju, većina njih su međusobno protuslovne. A opet, po svoj prilici je velika jedinstvena teorija odredila da ti autori misle da misle ispravno. Zašto bi dakle nešto što ja kažem imalo neku veću vrijednost? Jesam li ja jednako tako određen velikom jedinstvenom teorijom?

Treći problem s idejom da je sve određeno je što osjećamo da imamo slobodnu volju — da imamo slobodu nešto učiniti ili ne. No ako je sve utvrđeno zakonima znanosti, tada slobodna volja mora biti obmana, a ako nemamo slobodnu volju, što je temelj naše odgovornosti za naše čine? Ljude ne kažnjavamo zbog zločina ukoliko su umobolni, jer smo uvidjeti da si oni ne mogu u tome pomoći. No ako je sve sa svima nama utvrđeno velikom jedinstvenom teorijom, nitko od nas ne može si pomoći u onome što čini, pa zašto bi bilo tko snosio odgovornost za ono što čini?

Ova pitanja determinizma bijahu razmatrana stoljećima. Rasprava je, međutim, bila prilično akademska, budući da smo bili daleko o potpunog poznavanja znanstvenih zakona i nismo znali kako je zadano početno stanje svemira. Problemi su sada hitniji, jer postoji mogućnost iznalaženja potpune jedinstvene teorije za samo dvadesetak godina. Osim toga, uvidjeli smo da i samo početno stanje može biti određeno znanstvenim zakonima. Ovo što sada slijedi je moj osobni pokušaj nagoditi se s tim problemima. Ne polažem pravo na neku veliku originalnost ili dubinu, no to je najbolje što ovog trenutka mogu činiti.

Krenimo s prvim pitanjem. Kako može jedna razmjerno jednostavna i jezgrovita teorija stajati iza jednog svemira koji je tako složen kao ovaj što ga promatramo,

sa svim njegovim svakodnevnim i nevažnim pojedinostima? Ključ odgovora na to je načelo neodređenosti kvantne mehanike koje izriče da se ne može točno izmjeriti i položaj i brzina čestice; što točnije mjerite položaj, to je manja točnost kojom možete izmjeriti brzinu, i obratno. Ova neodređenost nije tako važna u sadašnje vrijeme, kad su stvari međusobno daleko razdvojene, tako da malena neodređenost u položaju ne mijenja bitno situaciju. Ali u najranijem svemiru se sve nalazilo zajedno i vrlo blizu, tako da je bilo poprilično neodređenosti i postojao je izvjestan broj mogućih stanja svemira. Ova razna moguća stanja razvila bi se u čitavu obitelj raznih prikaza svemira. Najveći broj tih prikaza bio je sličan glede njihovih značajki širokih razmjera. Svi bi oni odgovarali glatkom i jednolikom svemiru koji se bio širio. Međutim, razlikovali bi se u pojedinostima, kao što je na primjer raspored zvijezda i, štoviše, što je izlazilo na naslovnim stranicama njihovih časopisa (dakako, ako su ti prikazi, ili povijesti, uopće sadržavali časopise). Prema tome, složenost svemira oko nas i sve njegove pojedinosti potječu iz načela neodređenosti u najranijim fazama svemira. Ovo nam daje čitavu obitelj mogućih prikaza, mogućih razvoja svemira. Postojala bi neka povijest svemira u kojoj su nacisti pobijedili u drugom svjetskom ratu, premda je vjerojatnost malena. Ali nama se upravo događa da živimo u priči svemira u kojoj su taj rat dobili Saveznici i u kojem je Madonna bila na naslovnoj stranici *Cosmopolitana*.

A sad se okrenimo drugom pitanju: Ako je to što činimo određeno nekom velikom jedinstvenom teorijom, zašto bi ta teorija odredila donošenje ispravnih zaključaka o svemiru, umjesto nekih pogrešnih? Zašto bi nešto, bilo što, što izjavimo imalo ikakvu vrijednost? Moj odgovor na to temelji se na Darwinovoj ideji prirodnog odabi-

ranja. Prihvaćam da su neki vrlo jednostavni oblici života samonikli na Zemlji zahvaljujući slučajnim spajanjima atoma. Taj najraniji oblik života vjerojatno je bila neka velika molekula. Ali to vjerojatno nije bila DNK, budući da su vrlo mali izgledi da bi se oblikovala cijela DNK molekula tek nasumičnim spajanjima.

Već i najraniji oblik života se razmnožavao. Kvantno načelo neodređenosti i slučajna termalna gibanja atoma vodila su tome da se javljao izvjestan broj pogrešaka pri tom razmnožavanju, pravljenju jednakih otisaka. Većina tih pogrešaka bila je kobna za preživljavanje organizama ili za njihovu sposobnost daljnjeg množenja. Takve se pogreške stoga ne bi prenijele na buduće generacije već bi izumrle. Pukom igrom slučaja, vrlo malen broj pogrešaka imao bi dobročiniteljski učinak. Organizmi s takvim pogreškama imali bi veće izgleda za preživljavanje i razmnožavanje. Oni bi dakle nastojali zauzeti mjesto prvotnih, još nepoboljšanih organizama.

Razvoj građe dvostruke zavojnice DNK molekule mogao je biti takvo jedno poboljšanje u najranijim razdobljima. Bijaše to vjerojatno takav napredak da je posve nadomjestio bilo kakav raniji oblik života, kakav god da on bijaše bio. Kako je evolucija napredovala, vodila je prema razvoju središnjeg živčanog sustava. Stvorenja koja su točno prepoznavala posljedice podataka prikupljenih pomoću svojih osjetila te poduzela na temelju toga odgovarajuće korake, imahu više izgleda za preživljavanje i reprodukciju. Ljudska vrsta je sve to dovela do novog razdoblja razvoja. Mi smo vrlo slični čovjekolikim majmunima, i po našim tijelima i po našim DNK; ali neznatne promjene u našim DNK omogućile nam razviti jezik. To je značilo da možemo prenositi informaciju i prikupljati iskustvo s generacije na generaciju, prvo u govornom, a zatim i u pisanom obliku. Prije toga bi se poslje-

dice nekog pokusa mogle dalje predavati samo putem vrlo sporog postupka kodiranja u DNK molekulu nasumičnih pogrešaka pri razmnožavanju. Učinak novih mogućnosti bijaše dramatično ubrzanje evolucije. Ukupno je bilo potrebno više od tri milijarde godina da razvoj stigne do ljudske vrste. Ali tijekom posljednjih deset tisuća godina razvili smo pismo kao zapis jezika. To nam je omogućilo napredovanje od stanovnika špilja do sadašnjeg trenutka kad se možemo raspitivati o konačnoj teoriji svemira.

Tijekom posljednjih deset tisuća godina nije bilo značajne biološke evolucije ili promjena u ljudskoj DNK. Prema tome, naša inteligencija, naša sposobnost donošenja ispravnih zaključaka iz informacija što ih prikupljaju naša osjetila, ista je kao i u naših špiljskih predaka. Ona bijaše brušena na temelju sposobnosti ubiti neku životinju za hranu i izbjeći biti ubijen od druge životinje za (njenu) hranu. Značajno je da su se mentalne kvalitete koje bijahu izabirane u ove svrhe pokazale od tako velike koristi u vrlo različitim okolnostima današnjice. U borbi za preživljavanje ne bi se dobila neka velika prednost otkrićem velike jedinstvene teorije i odgovaranjem na pitanja o determinizmu. Unatoč tomu, inteligencija koju smo bili razvili u druge svrhe može nam biti dobar jamac da ćemo naći prave odgovore i na ta pitanja.

Prelazim sada na treći problem, na pitanja slobodne volje i odgovornosti za čine. Subjektivno osjećamo da smo sposobni odabrati ono što smo i što radimo. Ali to može biti samo obmana. Neki ljudi misle da su Isus Krist ili Napoleon, ali ne mogu biti svi u pravu. Ono što nam treba je objektivni test kojeg možemo primjeniti izvana da bismo razabrali ima li neki organizam slobodnu volju. Na primjer, pretpostavimo da nas je posjetila jedna "mala zelena osoba" s druge zvijezde. Kako bismo mogli od-

lučiti ima li ona slobodnu volju ili je tek robot programiran odgovarati kao da je poput nas?

Konačni objektivni test slobodne volje čini se da je sljedeći: Može li se predvidjeti ponašanje organizma? Ako se može, tada on očito nema slobodnu volju nego mu je ponašanje predodređeno. S druge strane, ukoliko se ponašanje ne može predvidjeti, to bi se moglo smatrati operativnom definicijom da taj organizam ima slobodnu volju.

Prigovor na ovakvu definiciju slobodne volje je da ćemo jednom, kad nađemo potpunu jedinstvenu teoriju, biti u stanju predvidjeti što će ljudi činiti. Međutim, ljudske je mozak također podanik načela neodređenost. Dakle, u ljudskom ponašanju je prisutan element nasumično-sti spojen s načelom neodređenosti. Ali energije s kojima radi mozak niske su pa kvantnomehanička neodređenost slabo dolazi do izražaja. Pravi razlog zašto ne možemo predvidjeti ljudsko ponašanje je da je to jednostavno pre-složeno. Mi već znamo osnovne fizičke zakone koji upravljaju radom našeg mozga, i oni su zapravo jednostavni. No jednostavno je preteško riješiti jednadžbe ako je u njih uključeno više od nekoliko čestica. Čak i u jednostavnijoj Newtonovoj teoriji gravitacije jednadžbe se mogu posve točno riješiti samo za slučaj dvije čestice (tijela). Za tri ili više čestica treba pribjeći približnim rješenjima, a brojem čestica brzo rastu i poteškoće. Naš mozak sadrži oko 10^{26} odnosno sto milijuna milijardi milijardi čestica. To je daleko previše da bismo ikad bili u stanju riješiti jednadžbe i predvidjeti kako bi se mozak ponašao u njegovom zadanom početnom stanju i s ner-vnim podacima koji ulaze u njega. Dakako, mi zapravo ne možemo ni izmjeriti što bi bilo to početno stanje, jer da bismo to učinili morali bismo mozak izdvojiti. Čak i ako bismo bili spremni to učiniti, bilo bi jednostavno

previše čestica za snimanje. Također, mozak je vjerojatno vrlo osjetljiv glede početnoga stanja — malene promjene u početnom stanju mogu izazvati velike razlike u kasnijem ponašanju. Premda dakle poznamo temeljne jednadžbe koje upravljaju mozgom, nismo ih u stanju upotrijebiti za predviđanje ljudskog ponašanja.

Ova situacija nastaje u znanosti kadgod imamo posla s makroskopskim sustavom, jer je broj čestica ondje uvijek prevelik za bilo kakve izgleda na uspjeh u rješavanju osnovnih jednadžbi. Ono što u tim slučajevima činimo je upotreba nekih djelotvornih teorija. One su aproksimacije u kojima se vrlo velik broj čestica nadomješta s nekoliko veličina. Jedan primjer je mehanika fluida. Tekućina poput vode sastoji se od milijardi milijardi molekula koje su pak građene od elektrona, protona i neutrona. Ipak, dobra je aproksimacija ako tekućinu smatramo za neprekinut medij prikazan samo brzinom, gustoćom i temperaturom. Rezultati teorije mehanike fluida nisu potpuno točni — dovoljno je poslušati meteorološke prognoze pa se u to uvjeriti — ali su dovoljno točne da omoguće projektiranje brodova ili naftovoda.

Želim ovime dozvati predodžbu da su pojmovi poput slobodne volje i moralne odgovornosti za naše čine zaista djelotvorne teorije, u smislu gore spomenute mehanike fluida. Možda je sve što činimo utvrđeno nekom velikom jedinstvenom teorijom. Ako je ta teorija odredila da ćemo biti obješeni, znači da se nećemo utopiti. No morali biste biti prokleta sigurni u to da vam je sudbina namijenila vješala pa da se u malom čamcu uputite na debelo more za vrijeme žestoke oluje. Zamijetio sam da čak i oni ljudi koji pričaju da je sve u životu predodređeno te da ne možemo učiniti ništa da bismo to izmijenili, gledaju lijevo i desno prije negoli prijeđu cestu. Možda je to samo stoga što oni koji ne gledaju ne prežive pa ni ne pričaju.

Ne može se nečije ponašanje zasnivati na poimanju da je sve predodređeno, budući da se ni ne zna što je bilo predodređeno. Umjesto toga, treba prihvatiti djelotvornu teoriju da se posjeduje slobodna volja i da se odgovara za svoje čine. Ova teorija nije baš dobra za predviđanje ljudskog ponašanja, ali usvajamo je jer nema izgleda da bismo riješili jednadžbe koje proizlaze iz temeljnih zakona. Postoji također i jedan darvinijanski razlog zašto vjerovati u slobodnu volju: Društvo u kojem pojedinac osjeća odgovornost za svoje čine ima veće izgleda za suživot, a time i preživljavanje da bi dalje nastavilo i širilo svoje moralne vrijednosti. Dakako, i mravi rade dobro zajedno. Ali takvo neko društvo je statično. Nije u stanju odgovoriti na neobične izazove ili razviti nove povoljne prilike. Skupina slobodnih pojedinaca koji dijele izvjesne zajednički želje može, međutim, raditi zajedno na postizanju općih ciljeva i ipak zadržati otvorenost prema uvođenju inovacija. Prema tome, u takvom društvu je vjerojatniji napredak i širenje njegovog sustava vrijednosti. Pojam slobodne volje spada u arenu drukčiju od one u kojoj su temeljni zakoni znanosti. Ako netko ljudsko ponašanja pokušava izvoditi iz zakona znanosti, upada u logični paradoks sustava upućenih sami na sebe. Kao kad bi se moglo predviđati iz temeljnih zakona znanosti, a zatim bi činjenica da je napravljeno predviđanje moglo promijeniti to što se događa. To je i poput problema u koje bi se upalo kad bi bila moguća vremenska putovanja, za koje ja mislim da ih nikad neće biti. Kad biste mogli vidjeti što će se događati u budućnosti, mogli biste to mijenjati. Kad biste znali koji će konj pobijediti na Velikoj nacionalnoj utrci, mogli biste se obogatiti kladeći se na njega. Ali taj postupak bi promijenio vjerojatnost. Dovoljno je samo pogledati film *Povratak u budućnost* pa da shvatite kakvi se problemi mogu pojaviti.

Paradoks vezan uz mogućnost pretkazivanja nečijih čina u uskoj je svezi s problemom što sam ga ranije spomenuo: Hoće li konačna teorija ustanoviti da dođemo do pravih zaključaka o konačnoj teoriji. U tom slučaju, slažem se da bi nas Darwinova ideja prirodnog odabiranja vodila k ispravnome odgovoru. Možda ispravni odgovor nije pravi način za opisivanje toga, ali prirodno odabiranje bi nas barem vodilo do skupa fizikalnih zakona koji rješavaju zadatak sasvim dobro. Međutim, ne možemo primijeniti te fizikalne zakone za izvođenje zaključaka o ljudskom ponašanju i to iz dva razloga. Prvo, ne možemo riješiti jednadžbe. Druga, kad bismo i mogli, dobivanje predviđanja poremetilo bi sustav. Umjesto toga, prirodno odabiranje izgleda da nas vodi prihvaćanju djelotvorne teorije slobodne volje. Ako se prihvaća da za čine neke osobe vrijedi sloboda izbora, tada se ne možemo složiti da su u nekim slučajevima ti čini određeni vanjskim silama. Ali ljudi su skloni pobrkati činjenicu o možebitnom dobrom pogađanju što bi neka osoba najradije izabrala s predodžbom da izbor nije slobodan. Pogodio bih ako bih rekao da će većina vas danas navečer večerati, ali stvar je vašeg slobodnog izbora hoćete li leći gladni u krevet. Primjer takvog brkanja pojmova je i doktrina smanjene odgovornosti: zamisao da osobe ne bi smjele biti kažnjene za svoja djela ukoliko su ih počinile dok su bile pod stresom. Može biti da kad je netko u stresnom stanju vjerojatnije počinu neko zlodjelo. Ali to ne znači da bismo ublažavanjem kažnjavanja trebali povećavati vjerojatnost da on ili ona počine zlodjelo pod stresom, jer će im stoga progledati kroz prste.

Istraživanja osnovnih zakona znanosti te proučavanje ljudskog ponašanja predmeti su za posve odvojene odjele. Zbog razloga koje sam bio naveo, ne može se upotrebljavati temeljne zakone znanosti za izvođenje zak-

ljučaka o ljudskom ponašanju. Ali mogla bi se gajiti nada da bismo bili u stanju upotrijebiti i inteligenciju i moć logičkog mišljenja koje smo bili razvili prirodnim odabiranjem tijekom evolucije. Na nesreću, prirodno odabiranje je također razvilo i druge značajke, poput agresivnosti. Agresivnost je nešto što je moglo dati izvjesnu prednost pri preživljavanju u vrijeme špiljskih ljudi i ranije, pa je stoga kod prirodnog odabiranja bila povlaštena. Međutim, silne razaralačke moći što su ih iznjedrile suvremena znanost i tehnika učinile su agresivnost vrlo opasnom osobinom i prijetnjom opstanku čitave ljudske vrste. Nevolja je u tome što su naši agresivni instinkti, čini se, kodirani u našim genima. DNK se mijenja samo biološkom evolucijom u vremenskom rasponu od milijuna godina, ali naša razaralačka moć se povećava u vremenskom rasponu od samo dvadeset ili trideset godina. Osim ako ne uzmognemo iskoristiti našu inteligenciju za nadzor nad našom agresivnošću, za ljudsku vrstu nema mnogo izgleda. Ipak, dok god je života, postoji i nada. Uspije li nam preživjeti sljedećih stotinu ili tako nekako godina, proširit ćemo se do drugih planeta i, možda, drugih zvijezda. Time će biti smanjena vjerojatnost istrebljenja čitave ljudske vrste u nekoj nesreći poput nuklearnog rata.

Da kratko ponovimo: Razmotrio sam neka pitanja koja se javljaju kad se vjeruje da je sve u svemiru predodređeno, da u njemu vlada determinizam. Nema neke bitne razlike je li izvorište tog determinizma neki svemogućí Bog ili prirodni zakoni. Štoviše, uvijek se može reći da su ti zakoni izražavanje Božje volje.

Razmatrao sam tri pitanja: Prvo, kako može jednostavan skup nekih jednadžbi odlučiti o svoj složenosti svemira i svih njegovih beznačajni dnevnih pojedinosti? Ili, za one kojima je Bog miliji od jednadžbi, može li se doista povjerovati da Bog odabire sve one beznačajne

pojedini, poput toga tko će biti na naslovnoj stranici sljedećeg broja *Cosmopolitana*? Odgovor je, čini se, da načelo neodređenosti kvantne mehanike znači da ne postoji tek jedan jedini prikaz svemira već čitava obitelj mogućih prikaza. Ovi prikazi mogu biti slični u velikim razmjerima svemira, ali će se jako razlikovati u običnim, svakodnevnim razmjerima. Mi živimo u jednom osobitom prikazu, posebnoj povijesti svemira koji ima svoje osobitosti i pojedinosti. Ali postoje vrlo slična inteligentna bića koja žive u svemirskim pričama koja se razlikuju po tome tko je dobio neki rat i tko je na top listi pop-glazbe ovoga tjedna. Prema tome, beznačajne pojedinosti našeg svemira nastaju zato jer temeljni zakoni sadrže kvantnu mehaniku s njenim elementom neodređenosti ili nasumičnosti.

Drugo pitanje je bilo: Ako je sve (pred)određeno nekom temeljnom teorijom, tada je sve što kažemo o toj teoriji također određeno tom teorijom — a zašto bi to bilo određeno kao točno, umjesto da bude posve pogrešno ili nevažno? Moj odgovor na to je bio pozivanje na Darwi-novu teoriju prirodnog odabiranja: Vjerojatnost za pre-življanje i reprodukciju imali bi samo oni pojedinci koji su izvlačili primjerene zaključke o svijetu oko sebe.

Treće pitanje je bilo: Ako je sve (pred)određeno, što je sa slobodnom voljom i s našom odgovornošću za naše čine? Ali jedini objektivni test ima li neki organizam slobodnu volju ili ne je predvidivost njegovog ponašanja. U slučaju ljudskih bića, nikako nismo u stanju upotrijebiti temeljne zakone znanosti za predviđanje ljudskih čina, i to iz dva razloga. Prvo, ne možemo riješiti jednadžbe za vrlo velik broj čestica koje su u igri. Drugo, čak kad bismo i riješili te jednadžbe, činjenica da je učinjeno predviđanje poremetilo bi sustav i dovelo do drukčijeg po-sljetka. Pa ako ne možemo pretkazati ljudsko ponašanje,

možemo osim toga prihvatiti djelotvornu teoriju da su ljudi slobodni čimbenici koji izabiru što će činiti. Izgleda da postoje jasne prednosti za preživljavanje pri vjeri u slobodnu volju i odgovornost za svoje čine. To znači da bi ovo vjerovanje trebalo biti ojačano metodom prirodnog odabiranja. Ostaje za istražiti je li osjećaj odgovornosti, generacijski prenošen putem jezika, dovoljan za nadzor nad instinktom agresivnosti koji je nasljeđivan DNK putem. Ako nije, ljudska vrsta će biti jedna od slijepih ulica prirodnog odabiranja. Možda će neka druga vrsta inteligentnih bića negdje drugdje u Galaktici uspjeti postići bolju ravnotežu između odgovornosti i agresivnosti. A ako je tako, mogli bismo očekivati susret s njima, ili barem otkriti njihove radiosignale. Možda su i svjesni našeg postojanja, ali ne žele nam se otkriti. To bi moglo biti mudro, uzevši u obzir našu povijest. Ukratko, naslov ovog eseja je bilo pitanje: Je li sve određeno? Odgovor: da, je. Ali moglo bi isto tako i ne biti, jer ne možemo nikad znati što je određeno.

BUDUĆNOST SVEMIRA*

PREDMET OVOG ESEJA je budućnost svemira ili, bolje rečeno što znanstvenici misle kakva će ta budućnost biti.

Dakako, pretkazivanje budućnosti vrlo je teško. Jednom sam mislio da bih trebao napisati knjigu *Jučerašnje sutra: Povijest budućnosti*. To bi trebala biti povijest predviđanja budućnosti, od kojih su gotovo sva bila vrlo netočna. Ali unatoč tih promašaja, znanstvenici i dalje misle da mogu pretkazati budućnost.

U staro doba, proricanje budućnosti bijaše zanat proročica i vračeva. Često su to bile žene koje su dovođene u trans pomoću neke droge ili udišući plinove na nekom otvoru podzemlja. Njihova buncanja zatim su tuma-

*Predavanje održano na Sveučilištu Cambridge, siječnja 1991.

čili prisutni svećenici. Ta tumačenja su bila ono pravo umijeće proricanja. Slavna delfijska proročica u antičkog Grčkoj bila je opće poznata po izvrđavanju odgovora ili je pak davala dvosmislene odgovore. Kad su Spartanci zapitali što bi se dogodilo kad bi Perzijanci napali Grčku, proročica je odgovorila: "Ili će Sparta biti razorena ili će njen kralj biti ubijen." Pretpostavljam da su delfijski svećenici bili procijenili da će, ukoliko se ne bude zbio nijedan od tih događaja, Spartanci biti silno zahvalni Apolonu pa će posve smetnuti s uma činjenicu da je njegova proročica dala krivo proročanstvo. U stvari, kralj je doista i poginuo, braneći Termopilski klanac u borbi koja je spasila Spartu i bila uvod u konačni poraz Perzijanaca.

U drugoj jednoj prigodi, lidijski kralj Krez, najbogatiji čovjek na svijetu, zapitao je proročicu što bi se dogodilo ako on, Krez, napadne Perziju. Odgovor je glasio: "Past će veliko kraljevstvo." Krez je mislio da se pod tim smatra Perzijsko kraljevstvo, ali bilo je to njegovo veliko kraljevstvo koje je izgubilo rat, a on je sam završio na lovači, živ spaljen.

Suvremeni proroci sudnjeg dana bijahu mnogo odlučniji, ne prezajući ni od iznošenja točnih nadnevaka za kraj svijeta. Ova su proročanstva čak služila padu vrijed-nosnica na svjetskim burzama, premda me zbunjuje zašto bi kraj svijeta nekoga nagnao da proda dionice za gotov novac. Po svoj prilici, tamo kamo nakon toga ide ne može ponijeti ni jedno ni drugo.

Sve dosad, svi izneseni nadnevcu sudnjeg dana prošli su, a da se ništa nije dogodilo. No proroci su često imali objašnjenje za svoje očite promašaje. William Miller, osnivač Adventista Sedmog dana, prorekao je da će se Drugi Dolazak dogoditi između 31. ožujka 1843. i 21. ožujka 1844. Kad se u tom razdoblju ništa nije bilo dogodilo, nadnevak je bio pomaknut na 22. listopada 1844.

Kad je i to prošlo u miru, predloženo je jedno novo tumačenje. Prema njemu, godina 1844. bijaše doista početak Drugog Dolaska — ali prvo trebaju biti prebrojana imena u Knjizi Života. Tek nakon toga dolazi Sudnji Dan za one kojih nema u toj knjizi. Srećom, čini se da ovo prebrojavanja uzima dosta vremena.

Dakako, znanstvena predviđanja ne mogu biti mnogo pouzdanija od onih proroka i vračeva. Pomislimo samo na meteorološke prognoze. Ali postoje izvjesne situacije za koje mislimo da možemo dati pouzdana predviđanja, a budućnost svemira, u vrlo širokom rasponu, jedna je od takvih.

Tijekom posljednjih tristo godina otkrili smo zakone znanosti koji upravljaju materijom u svim uobičajenim situacijama. Još uvijek ne znamo točne zakone koji upravljaju materijom pod vrlo ekstremnim uvjetima. Ti zakoni su važni za razumijevanje nastanka svemira, ali ne utječu na budući razvoj svemira, barem tako dugo dok se svemir ponovno ne stisne u stanje visoke gustoće. U stvari, baš činjenica što moramo trošiti silne količine novca za gradnju golemih ubrzivača čestica za iskušavanje visokih energija upravo dokazuje koliko malo utječu ovi zakoni visokih energija na svemir danas.

Čak ako i uzmognemo saznati pripadajuće zakone koji upravljaju svemirom, ne bismo ih bili u stanju upotrijebiti za predviđanja vrlo daleke budućnosti, budući da rješenja jednadžbi fizike mogu pokazati svojstvo koje je poznato pod imenom kaos. Kaos znači da se jednadžbama dopušta nestabilnost: Učinite jednom s nekom malom količinom neznatnu promjenu stanja u kakvom je neki sustav, pa kasnije ponašanje toga sustava može postati potpuno drukčije. Na primjer, ako neznatno promijenite vrtnju ruletnog kotača, promijenit će se broj na kojeg pada kuglica. Praktički je nemoguće pretkazati

broj koji će izaći; inače bi kockarnice bile mjesta za bogaćenje fizičara.

Kod nestabilnih i kaotičnih sustava, općenito postoji neko vremensko razdoblje u kojem će mala promjena nekog početnog stanja narasti u promjenu dvaput toliko veliku. U slučaju Zemljine atmosfere, ovaj vremenski raspon je reda veličine oko pet dana, otprilike vrijeme potrebno da vjetrovi obiđu planet. Mogu se napraviti zadovoljavajući točne vremenske prognoze za razdoblje do pet dana, no za predviđanje vremena dalje unaprijed bilo bi potrebno vrlo točno poznavanje sadašnjega stanja atmosfere i primjena nevjerojatno složenih izračuna. Nema načina kako predvidjeti vrijeme šest mjeseci unaprijed, osim prosjeka klimatskih prilika za godišnja doba.

Poznati su nam također i osnovni zakoni koji upravljaju kemijom i biologijom pa bismo stoga, u načelu, trebali biti u stanju utvrditi kako radi mozak. No u jednadžbama koji upravljaju mozgom gotovo u pravilu ima elementa kaotičnog ponašanja, odnosno vrlo malene promjene u početnome stanju mogu odvesti do vrlo različitih posljedaka. Prema tome, u stvarnosti ne možemo predvidjeti ljudsko ponašanje, premda su nam poznate načelne jednaždbe koje njime upravljaju. Znanost ne može predvidjeti budućnost ljudskog društva ili čak ima li ono uopće neku budućnost. Izvorište opasnosti je u činjenici da se naše moći oštećivanja ili uništavanja prirodnog okoliša i nas samih povećavaju većom brzinom negoli naša mudrost u nadzoru upotrebe tih moći.

Štogod da se dogodi na Zemlji i s njom, ostali svemir nastavit će postojanje bez obzira na to. Čini se da je i gibanje planeta oko Sunca u krajnjem smislu također kaotično, premda tek na vrlo dugoj vremenskoj ljestvici. To znači da pogreške u nekom predviđanju postaju sve veće i veće kako vrijeme teče. Nakon izvjesnog vremena,

postaje nemoguće predvidjeti to gibanje u svakoj pojedinosti. Možemo biti vrlo sigurno u to da, na primjer, Zemlja neće imati bliski susret s Venerom još jako dugo vremena, ali ne možemo biti sigurni neće li maleni poremećaji u njihovim stazama prouzročiti takav susret za recimo milijardu godina u budućnosti. Kaotično je također i gibanje Sunca i drugih zvijezda pri vrtnji čitave Galaktike te gibanje Galaktike unutar lokalne skupine galaktika. Vidimo da se druge galaktike gibaju udaljujući se od nas, a što su udaljeniji to se brže udaljuju. To znači da se svemir širi uokolo nas: Udaljenosti između galaktika tijekom vremena se povećavaju. Mikrovalno pozadinsko zračenje, koje stiže do nas iz svih smjerova dubokog svemira, pokazatelj je kako je širenje svemira ravnomjerno, glatko, a ne kaotično. Ovo zračenje možete čak i sami zamijetiti jednostavno tako da podesite vaš televizijski prijemnik na neki prazni kanal. Jedan maleni postotak "snijega" što ga vidite na ekranu prouzročilo je mikrovalno zračenje iz dubokog svemira, izvan Sunčevog sustava. To je ista ona vrsta zračenja kakvu imate u vašoj mikrovalnoj pećnici, samo je mnogo slabija. Zagrijala bi vam hranu na samo 2,7 stupnjeva iznad apsolutne nule, pa se ne može upotrijebiti za zagrijavanje gotove piz-ze što ste je kupili u samoposluživanju. Smatramo da je ovo zračenje ostatak ostataka iz vruće rane faze svemira. Ali najznačajnija stvar glede toga je da je jačina tog zračenja gotovo potpuno ista iz svih smjerova. Ovo zračenje je vrlo točno mjereno pomoću satelita COBE (COsmic Background Explorer). Karta neba dobivena tim promatranjima pokazala je razlike u temperaturama zračenja. Ove temperature su istina različite u različitim smjerovima promatranja, no te su razlike vrlo vrlo malene, samo jedna tisućinka jednog postotka. Nekih razlika u jačini mikrovalnog zračenja i mora biti, jer svemir nije posve

gladak; postoje prostorne neravnomjernosti poput zvijezda, galaktika ili jata galaktika. Ali varijacije mikrovalnog pozadinskog zračenja su toliko male koliko mogu biti, uzevši u obzir prostorne neravnomjernosti što ih promatramo. Mikrovalno pozadinsko zračenje u svim je smjerovima jednako s 99.999 dijelova od 100.000.

U ranijim vremenima ljudi su vjerovali da je Zemlja u središtu svemira. Stoga oni ne bi bili iznenađeni činjenicom da je svemir u svim smjerovima isti. Međutim, nakon Kopernika, srozani smo u statusu na maleni planet koji kruži oko vrlo prosječne zvijezde u vanjskom rubu jedne tipične galaktike, koja je samo jedna od stotinu milijardi galaktika u vidljivom svemiru. Sada smo tako skromni da ne možemo zahtijevati neki posebni položaj u svemiru. Moramo stoga pretpostaviti da je pozadinsko zračenje također isto u svim smjerovima oko bilo koje druge galaktike. Takvo što je moguće samo ako su prosječna gustoća svemira i brzina širenja svugdje iste. Svako odstupanje od prosječne gustoće ili od brzine širenja, na velikom području prouzročilo bi razlike u jačini mikrovalnog pozadinskog zračenja iz različitih smjerova. To znači da je, gledano u velikim razmjerima, ponašanje svemira jednostavno, a nije kaotično. Stoga se za njega mogu raditi predviđanja daleko u budućnost.

Budući da je širenje svemira tako jednoliko, može ga se izraziti u obliku jednog jedinog broja, udaljenosti između dviju galaktika. Ta se udaljenost u sadašnje vrijeme povećava, ali za očekivati je da će gravitacijsko privlačenje sve više i više usporavati tempo širenja. Ukoliko je gustoća veća od neke kritične vrijednosti, gravitacijsko privlačenje će na kraju zaustaviti širenje i natjerati svemir na započinjanje stezanja. Svemir bi se urušio u Velikom stisku. To bi bilo slično onom Velikom prasku kojim je svemir bio započeo. Veliki stisak bi bio ono što se zove

singularnost, posebnost, stanje beskonačne gustoće pri kojem se slamaju svi zakoni fizike. To znači da čak ako bi se i nešto događalo nakon Velikog stiska, ne bi se moglo predvidjeti kakvi bi to događaji bili. A bez uzročne veze između događaja nema nikakvog značenja reći da se jedan događaj dogodio nakon drugog. Moglo bi se jednako tako reći da je naš svemir skončao u Velikom stisku te da su bilo kakvi događaji koji su se dogodili "nakon" toga bili dio drugog, odvojenog svemira. To je nešto poput reinkarnacije. Kakvo se značenje može dati izjavi da je neko novorođenče isto kao netko tko je bio umro, ukoliko to dijete nije naslijedilo značajke ili pamćenje iz ranijeg života. Može se jednako tako ispravno reći da je to neka druga osoba.

Ako je prosječna gustoća svemira manja od one kritične vrijednosti, on se neće ponovno početi stezati već će se nastaviti širiti zauvijek. Gustoća će nakon izvjesnog vremena postati tako niska da gravitacijsko privlačenje neće više imati nekog znatnog učinka na usporavanje širenja. Galaktike će se nastaviti udaljavati stalnom brzinom.

Stoga je ključno pitanje za budućnost svemira: Koja je njegova prosječna gustoća? Ukoliko je manja od kritične vrijednosti, svemir će se zauvijek širiti. Ali ako je veća, svemir će se ponovno stezati, doživjeti kolaps i skončati Velikom stiskom. Međutim, u odnosu na druge proroke Sudnjeg dana, ja imam izvjesnih prednosti. Čak i ako svemir doživi kolaps, mogu pouzdano pretkazati da se neće prestati širiti još najmanje deset milijardi godina. Ne očekujem da ću doživjeti potvrdu ili pobijanje moga predviđanja.

Možemo na temelju promatranja pokušati s procjenom prosječne gustoće svemira. Pobrojimo li zvijezde i zbrojimo njihove mase, dobivamo manje od jedan posto

kritične gustoće. Čak i kad pribrojimo tome mase oblaka plina i prašine koje vidimo u svemiru, sve to zajedno čini samo oko jedan posto kritične vrijednosti. Međutim, poznato nama je da svemir mora sadržavati i tako zvanu tamnu tvar, koja se ne može izravno promatrati. Jedan dokazni putokaz prema postojanju te tamne tvari dolazi nam iz spiralnih maglica. Te maglice su galaktike, ogromne diskolike nakupine zvijezda i plina. Ustanovljujemo da se vrte poput zarotiranog kotača, no brzina vrtnje dovoljno je velika da bi se te galaktike — kad bi sadržavale samo vidljive zvijezde i plin — razletjele. Stoga mora u njima postojati neki nevidljivi oblik tvari čije gravitacijsko djelovanje je dovoljno jako da održava rotirajuću galaktiku na okupu.

Drugi dokazni putokaz za tamnu tvar dolazi nam iz galaktičkih jata. Ustanovili smo naime da galaktike i nisu baš potpuno ravnomjerno raspoređene po prostoru; drže se zajedno u jatima koja broje od samo nekoliko galaktika pa i do više milijuna. Po svoj prilici, ova jata su se oblikovala zato jer galaktike privlače jedne druge u nakupine. Međutim, možemo mjeriti brzine kojima se pojedine galaktike gibaju unutar jata. Ustanovljujemo da su te brzine tako velike da bi se jata već razletjela da ih ne drži na okupu neko dodatno gravitacijsko privlačenje. Za tu dodatnu gravitaciju potrebna je masa znatno veća od mase svih prisutnih galaktika. To vrijedi čak i za slučaj ako računamo da galaktike imaju mase koje su potrebne da se one same ne raspadnu zbog rotacije. Prema tome, zaključujemo da u jatima u prostoru između vidljivih galaktika mora postojati neka dodatna tamna tvar koju ne vidimo.

Mogu se napraviti prilično pouzdane procjene količine tamne tvari u onim galaktikama i u onim jatima za koje imamo dobro utvrđene podatke. Ali sve te procjene

daju tek samo oko deset posto kritične gustoće potrebne da bi se svemir zaustavio u širenju i počeo stezati. Prema tome, oslonimo li se samo na sadašnji opažački dokazni materijal, predviđanje je da će se svemir nastaviti širiti zauvijek. Nakon pet milijardi ili toliko nekako godina, Sunce će iscrpiti sve svoje nuklearno gorivo. Nadi-mat će se i pretvoriti u ono što nazivamo crvenim divom, progutavši pritom Zemlju i druge bliže planete. Zatim će se skupiti i smiriti u oblik zvan bijeli patuljak, vruću kuglu polumjera nekoliko tisuća kilometara. Ja dakle predviđam kraj svijeta, što baš i nije neko upotrebljivo predviđanje. Ne mislim da će ono previše srušiti vrijednost dionica na svjetskim burzama. Pred nama su jedan ili dva hitnija problema. U svakom slučaju, u vrijeme kad Sunce dođe do takvog kraja, mi bismo već trebali ovladati nekom vrstom međuzvezdanog transporta, pod pretpostavkom da prije toga ne uništimo sami sebe.

Za deset ili toliko otprilike milijardi godina sagorijet će većina zvijezda u svemiru. Zvijezde mase usporedive sa Sunce postat će ili bijeli patuljci ili pak neutronske zvijezde koje su čak manje i gušće nego bijeli patuljci. Zvijezde masivnije od Sunca mogu postati crne jame, koje su još manje i iz čijeg jakog gravitacijskog polja ne može pobjeći ni svjetlost. Ipak, ovi zvjezdani ostaci će nastaviti kružiti oko središta naše Galaktike, i to jednom u otprilike stotinu milijuna godina. Zbog bliskih susreta tih ostataka neki od njih će biti izbačeni iz Galaktike. Ostali će se spuštati u staze sve bliže središtu i na kraju će se skupiti svi zajedno, oblikujući golemu crnu jamu u središtu Galaktike. Što god da je ona tamna tvar u galaktikama i jatima, za očekivati je da će i ona na kraju pasti u ove vrlo velike crne jame.

Moglo bi se stoga sažeto reći da će većina tvari galaktika i jata na kraju krajeva završiti u crnim jamama.

Međutim, prije nekoliko godina sam ustanovio da crne jame nisu tako crne kako ih se oslikava. Načelo neodređenosti kvantne mehanike izriče da se česticama ne može potpuno točno odrediti i položaj i brzina. Što se točnije ustanovi položaj neke čestice, to je manje točno izmjeriva njena brzina i obratno. Ako je neka čestica u crnoj jami, njezin je položaj točno određen u tom smislu da je ona sigurno u crnoj jami. To znači da se njena brzina ne može posve točno utvrditi. Moguće je stoga da brzina čestice bude i veća od brzine svjetlosti. To bi joj pak omogućilo bijeg iz crne jame. Čestice i zračenje će dakle postepeno istjecati iz crne jame. Golema crna jama u središtu neke galaktike imala bi polumjer milijune kilometara. Unutar tako velike crne jame bio bi dakle velik stupanj neodređenosti u položaju čestice. Stoga bi bila i mala nedoređenost u brzini čestice, što znači da bi bilo potrebno vrlo dugo vrijeme da neka čestica pobjegne iz crne jame. Ali na kraju ipak bi. Za veliku crnu jamu u središtu neke galaktike trebalo bi proći 10^{90} godina prije nego ona potpuno ispari i nestane; to je broj 1 iza kojeg slijedi devedeset ničtica. To je vrijeme mnogo mnogo duže od sadašnje starosti svemira, koja je samo 10^{10} godina; broj 1 iza kojeg slijedi deset ničtica. No ako se svemir zauvijek širi, bit će i za gore rečeno dovoljno vremena da se dogodi.

Budućnost tog zauvijek širećeg svemira bila bi zapravo vrlo dosadna. No nipošto nije sigurno da će se svemir zauvijek širiti. Posjedujemo čvrste dokaze za samo jednu desetinu gustoće potrebne da svemir zaustavi jednoga dana širenje i započne stezanje. Ali, moguće je da ima i drugih vrsta tamne tvari koje nismo otkrili, a koja bi mogla podići prosječnu gustoću svemira do kritične vrijednosti ili iznad nje. Ova dodatna tamna materija trebala bi se nalaziti izvan galaktika i izvan galaktičkih

jata. U protivnom, bili bismo zamijetili njen učinak na rotaciju galaktika ili gibanje galaktika u jatima.

Zašto bismo mislili da treba biti dovoljno tamne tvari da na kraju svemir doživi kolaps? Zašto jednostavno ne vjerujemo u tvar za postojanje koje imamo čvrste dokaze? Razlog toj nevjerici je što posjedovanje jedne desetine sadašnje kritične gustoće zahtijeva nevjerojatno pažljiv odabir početne gustoće i brzine širenja. Da je gustoća svemira jednu sekundu nakon Velikog praska bila veća za samo jedan dio od tisuću milijardi (jednu tisućinku jedne milijardinke), svemir bi doživio kolaps već nakon deset godina. S druge strane, da je gustoća svemira u tom trenutku bila za taj isti iznos manja, svemir bi od deset godina starosti pa nadalje bio zapravo prazan prostor.

Kako to da je početna gustoća svemira tako pažljivo odabrana? Možda ima nekog razloga zašto bi svemir trebao imati točno kritičnu gustoću. Čini se da postoje dva moguća objašnjenja. Jedno je takozvano antropsko načelo, koje se može parafrazirati kao: *Svemir je kakav jest, jer da je drukčiji mi ne bismo niti postojali da to ustanovimo.* Zamisao iza toga je da mogu postojati mnogi različiti svemiri s različitim gustoćama. Samo oni čije gustoće su vrlo blizu kritičnoj gustoći potrajali bi dovoljno dugo i sadržavali dovoljno tvari za nastanak zvijezda i planeta. Samo u takvim svemirima bi postojala inteligentna bića koja postavljaju pitanje: Zašto je gustoća tako blizu kritičnoj? Ako je to objašnjenje sadašnje gustoće svemira, nema razloga vjerovati da svemir sadrži više materije negoli što smo već ustanovili. Pri jednoj desetinki kritične gustoće bilo bi dovoljno tvari za oblikovanje zvijezda i galaktika.

Mnogim se ljudima, međutim, ne sviđa antropsko načelo, jer se čini da se preko njega našem postojanju

pridaje prevelika važnost. Stoga je bilo traženo drugo moguće objašnjenje zašto bi gustoća bila blizu kritičnoj vrijednosti. Potraga je vodila do teorije inflacije u ranom svemiru. Zamisao je bila da je svemir možda doživio fazu udvostručavanja, na način kao što se u nekim zemljama visoke inflacije cijene udvostručuju svakih nekoliko mjeseci. Međutim, inflacija svemira bila bi mnogo mnogo brža i mnogo ekstremnija: porast za faktor od najmanje milijardu milijardi milijardi (10^{27}), u kratkotrajnoj inflaciji, prouzročio bi svemir koji bi imao tako gotovo točnu kritičnu gustoću da bi još uvijek sada bila vrlo blizu kritične gustoće. To znači da će svemir konačno doživjeti kolaps odnosno Veliki stisak, ali za mnogo duže od petnaestak milijardi ili tako nekako godina, koliko je već u stanju širenja.

Što bi ta tamna tvar — koja mora biti ovdje ako je teorija inflacije točna — trebala biti? Čini se da je vjerojatno različita od vrste nama poznate tvari od koje su građene zvijezde i planeti. Možemo izračunati količine raznih lakih elemenata koji su bili proizvedeni u vrućim početnim stanjima svemira, tijekom prve tri minute nakon Velikog praska. Količine tih lakih elemenata zavise o količini uobičajene materije u svemiru. Možemo nacrtati dijagram u kojem je okomito ubilježena količina lakih elemenata, a duž vodoravne osi količina obične tvari u svemiru. Postiže se dobro slaganja s promatranim zastupljenostima elemenata ako je ukupna količina obične tvari samo oko jedna desetina sadašnje kritične količine. Moglo bi biti da su ovi izračuni pogrešni, ali vrlo je impresivna činjenica da smo dobili slaganje s promatranim zastupljenostima više različitih elemenata.

Postoji li kritična gustoća tamne tvari, glavni kandidati za to što bi ona mogla biti su ostaci preostali iz ranih stanja svemira. Jedna od mogućnosti su elementarne

čestice. Postoji više hipotetski kandidata, čestica za koje vjerujemo da bi mogle postojati, ali koje dosad još nismo detektirali. No slučaj koji najviše obećava je čestica za čije postojanje imamo dobrih dokaza, a zove se neutrino. U početku se bilo mislilo da je to čestica bez vlastite mase, no neka novija promatranja upućuju na zaključak da bi neutrino mogao imati neku malenu masu. Bude li to potvrđeno i bude li ustanovljeno da je to njegova prava masa, neutrini bi mogli pridodati dovoljno mase da gustoću svemira podignu do kritične vrijednosti.

Druga mogućnost su crne jame. Moguće je da je rani svemir bio prošao ono što nazivamo fazni prijelaz. Isparavanje i zaledjivanje vode uobičajeni su primjeri faznih prijelaza. Pri faznome prijelazu se u početno jednolikom mediju, poput vode, razvijaju nepravilnosti, u slučaju vode to su komadi leda ili mjehurići pare. U ranom svemiru, ove nepravilnosti pri faznom prijelazu mogu kolabirati oblikujući crne jame. Ako su crne jame bile vrlo malene, one bi dosad već isparile zbog učinka kvantnomehantičkog načela neodređenosti, kako je već ranije opisano. No ako su imale više od nekoliko milijardi tona (masa neke planine), one bi se i dandanas nalazile uokolo, a vrlo teško ih je otkriti.

Jedini način kojim bismo mogli otkriti tamnu tvar ravnomjerno raspoređenu svemirskim prostorom bio bi putem njenog učinka na širenje svemira. Mjerenjem brzine kojom se daleke galaktike udaljuju od nas, može se odrediti kojom se brzinom širenje usporava. Zamisao je ta da mi zapravo promatramo ove galaktike u njihovoj dalekoj prošlosti, onda kad je svjetlost bila krenula od njih na put prema nama. Može se nacrtati dijagram ovisnosti brzine galaktike od njihovog prividnog sjaja, koji je mjera za njihovu udaljenost od nas. Uz pretpostavku da su sve galaktike otprilike jednako sjajne, ona dvostruko

dalja imat će četvrtinu prividnog sjaja, jer sjaj opada kvadratom udaljenosti. Različite krivulje u dijagramu odgovaraju različitim brzinama usporavanja. Krivulja koja je savinuta prikazuje svemir koji će na kraju doživjeti kolaps. Na prvi pogled, izgleda da promatranja upućuju na kolaps. No problem je što prividni sjaj galaktika i nije baš vrlo dobar pokazatelj njihove udaljenosti od nas. Ne samo da se galaktike znatno razlikuju po stvarnom sjaju, već postoje i znakovi da se njihov sjaj vremenom mijenja. Budući da nam nije poznato s kolikom promjenom sjaja u vremenu možemo računati, ne možemo ni reći koliki je tempo usporavanja: je li dovoljno brz da se zaustavi širenje pa da svemir stezanjem na kraju doživi kolaps, ili je pak premalen pa će se svemir nastaviti širiti zauvijek. Morat ćemo pričekati razvoj boljih tehnika mjerenja udaljenosti galaktika. No možemo biti sigurni u to da tempo usporavanja širenja nije tako brz da bi svemir mogao započeti s fazom stezanja u sljedećih više milijardi godina.

Ni širenje zauvijek ni kolaps za nekih stotinu milijardi godina, ni jedno od toga dvoga nije baš neka s uzbuđenjem iščekujuća budućnost. Ima li nečeg što možemo napraviti pa da učinimo tu budućnost zanimljivijom? Jedan od načina kojim bismo to sigurno postigli je da se sami uputimo u neku crnu jamu. Trebala bi to biti poprilično velika crna jama, više od milijun puta masivnija od Sunca. A postoje veliki izgledi da crna jama takve veličine postoji u središtu naše Galaktike.

Nismo još posve sigurni što se događa unutar crne jame. Ima rješenja jednadžbi opće teorije relativnosti koje bi dopustile da se padne u crnu jamu i izađe van iz bijele jame negdje drugdje. Bijela jama je vremenska opreka crnoj jami. To je objekt iz kojeg stvari mogu izaći, a ništa ne može pasti u njega. Bijela jama bi mogla biti u drugom kraju svemira. Čini se da to nudi mogućnost br-

zog međugalaktičkog putovanja. Nezgoda je što bi mogao biti prebrz. Kad bi putovanja kroz crne jame bila moguća, izgleda da ne bi bilo ničeg što bi vas spriječilo da se vratite natrag prije negoli ste krenuli. Moglo bi vam se stoga dogoditi da ubijete vlastitu majku prije svog rođenja, što bi vas spriječilo da uopće i krenete na taj (samoubilački put.

Srećom po naš život (ili naših majki), izgleda da zakonici fizike ne dopuštaju takva vremenska putovanja. Bit će da neka Kronološka zaštitna agencija sprečava putovanje u prošlost i osigurava svijet za povjesničare. Ono što bi se izgleda dogodilo ako bi netko krenuo na putovanje u prošlost je to da bi učinci načela neodređenosti izazvali pojavu velikog iznosa zračenja. Ovo zračenje bi ili toliko iskrivilo prostorvrijeme da ne bi bilo moguće ići natrag u vrijeme ili bi izazvalo skončanje prostorvremena u nekoj singularnosti poput Velikog praska ili Velikog stiska. U svakom slučaju, naša je prošlost zaštićena od zlomislećih osoba. Hipotezu Kronološke zaštite podržavaju i neki nedavni izračuni koje smo ja i drugi ljudi napravili. No činjenica da nas još nisu napale horde turista iz budućnosti najbolji je dokaz da vremensko putovanje nije moguće, i neće nikad ni biti.

Ukratko: Znanstvenici vjeruju da svemirom upravljaju dobro definirani zakoni koji načelno dopuštaju predviđanje budućnosti. Ali gibanje zadano tim zakonima često je kaotično. To znači da već neka malena izmjena početnog stanja može voditi u promjenu kasnijeg ponašanja, koja brzo postaje sve veća i veća. Stoga, u stvarnosti, često se mogu praviti točna predviđanja samo za vrlo kratko vrijeme u budućnosti. Međutim, ponašanje svemira u vrlo velikim, galaktičkim razmjerima čini se da je jednostavno, a ne kaotično. Može se stoga pretkazati hoće li se svemir širiti zauvijek ili će prijeći u stezanje do

konačnog kolapsa. Što će od toga biti, zavisi o sadašnjoj gustoći svemira. U stvari, sadašnja gustoća bit će da je vrlo blizu kritičnoj gustoći koja razdvaja kolaps od vječnog širenja. Ako je inflacijska teorija ispravna, svemir je zaista na oštrici noža. Stoga, u dobroj tradiciji proroka i vračeva, izvrđavam svoj proročki odgovor izjašnjavajući se za obje mogućnosti.

14

RAZGOVOR: PLOČE ZA PUSTI OTOK

***B**BC EMISIJA DESERT ISLAND DISCS ("Ploče za pusti otok"), počela se emitirati 1942. i to je najstariji program na radiju; do sada je to u Britaniji postalo nečim poput nacionalne institucije. Tijekom godina raspon gostiju bio je golem. U emisiji su gostovali pisci, glumci, glazbenici, filmski glumci i redatelji, ljudi iz sporta, zabavljači, kuhari, vrtlari, učitelji, plesači, političari, kraljevske visosti, karikaturisti — i znanstvenici. Od gostiju, o kojima se uvijek govori kao o brodolomcima, traže da izaberu kojih bi osam ploča uzeli sa sobom kad bi bili ostavljeni na pustom otoku. Također se od njih traži da navedu jednu luksuznu stvar (koja mora biti neživa) i knjigu koja bi im pravila društvo (pretpostavlja se da je odgovarajući vjerski tekst — Biblija, Kuran ili neka slična knjiga — već ta-*

mo, zajedno sa Shakespeareovim djelima.) Unaprijed se pretpostavlja da je sredstvo na kojem će se tonski zapis izvoditi već tamo; u uvodima prvih emisija govorilo bi se "... pretpostavlja se da imate gramofon i neiscrpan izvor igala pomoću kojih ćete ploče svirati." Danas se najboljim sredstvom za slušanje smatra CD gramofon na sunčani pogon.

Emisija se emitira svakoga tjedna, a uz razgovor, koji obično traje oko četrdeset minuta, pušta se gostov izbor glazbe. Međutim, ovaj razgovor sa Stephenom Haw-kingom, emitiran na Božić 1992, bio je iznimka i trajao je dulje.

Voditeljica je Sue Lawley.

SUE: Stephen, vama je, naravno, u mnogome poznata izoliranost poput one na pustom otoku, odvojenost od normalnog tjelesnog života i uskrata prirodnih načina komuniciranja. Koliko je to vama usamljenost?

STEPHEN: Ne držim se isključenim iz normalnoga života i ne mislim da bi ljudi oko mene rekli da sam isključen. Ne osjećam se kao invalid — nego jednostavno kao netko tko ima nekih smetnji na motornim neuronima, više kao da sam slijep na boje. Valjda se moj život ne bi mogao opisati kao običan, no u duhu ga osjećam normalnim.

SUE: A ipak, već ste, za razliku od mnogih izopćeni-ka u *Pločama za pusti otok*, sebi dokazali da ste mentalno i intelektualno samodovoljan, da imate dovoljno teorija i inspiracije da ne budete besposleni.

STEPHEN: Moglo bi se reći da sam po prirodi malo introvertiran, i da su me teškoće u komuniciranju prisili-

le da se oslonim na sebe. Ali kao dječak bio sam vrlo razgovorljiv. Treba mi razgovor s drugima kao poticaj. Otkrio sam da mi pri radu jako pomaže kad svoje ideje opisujem drugima. Čak i ako mi ne daju nikakve prijedloge, samim time što misli moram organizirati tako da ih mogu objasniti drugima, često mi pokaže kako dalje.

SUE: A emocionalno zadovoljenje? Za to su sigurno čak i sjajnim fizičarima potrebni drugi.

STEPHEN: Fizika je dobra stvar, ali je potpuno hladna. Ne bih mogao dalje živjeti kad bih imao samo fiziku. Poput svih drugih, i meni je potrebna toplina, ljubav i znaci ljubavi. I, opet, imam sreću, više sreće nego mnogi drugi s mojom bolešću, što primam mnogo ljubavi i topline. I glazba mi je vrlo važna.

SUE: Recite, što vam pruža više užitka, fizika ili glazba?

STEPHEN: Moram priznati da mi je zadovoljstvo kada u fizici sve ide dobro intenzivnije nego ijedno koje sam ikad našao u glazbi. Ali stvari tako krenu samo nekoliko puta u karijeri, a ploču možete staviti kad god hoćete.

SUE: A koja bi bila prva ploča koju biste svirali na pustom otoku?

STEPHEN: Poulencova *Gloria*. Prvi sam je put čuo prošloga ljeta u Aspenu u Coloradu. Aspen je najviše zimovališta, skijališta, ali ljeti se ondje održavaju susreti fizičara. Uz centar za fiziku stoji golemi šator gdje se održava glazbeni festival. Dok sjedite i smišljate što se

dogada kad crne jame ispare, čujete njihove glazbene pokuse. To je savršeno; tako se udružuju moja dva glavna zadovoljstva, fizika i glazba. Kad bih na svom pustom otoku mogao imati oboje, ne bih ni htio da me pronađu. Odnosno, bar dok u teorijskoj fizici ne dođem do otkrića koje bih htio svima objaviti. Satelitska antena, pomoću koje bih elektroničkom poštom mogao primati radove iz fizike, vjerojatno ne bi bila sukladna pravilima.

SUE: Radio zna prikriti tjelesne nedostatke, ali ovaj put prikriva nešto drugo. Stephen, vi ste prije sedam godina doslovno ostali bez glasa. Možete li mi reći što se dogodilo?

STEPHEN: Bio sam, ljeti 1985, u Ženevi, na CERN-u, velikom akceleratoru čestica. Namjeravao sam nastaviti u Njemačku, u Bayreuth, poslušati Wagnerov ciklus opera *Ring*. Ali dobio sam upalu pluća i završio u bolnici. Bolnica u Ženevi rekla je mojoj ženi da nema smisla održavati me na uređajima. Ali ona to nije povjerovala. Avionom su me prebacili u bolnicu Addenbrokes u Cambridgeu, gdje je kirurg imenom Roger Grey izveo traheotomiju. Ta mi je operacija spasila život, ali mi je oduzela glas.

SUE: Ali govor vam je tada ionako već bio nejasan i bilo ga je teško razumjeti, zar ne? Znači da bi vas moć govora ionako s vremenom napustila?

STEPHEN: Iako mi je glas bio nerazgovijetan i teško razumljiv, ljudi koji su mi bliski razumijevali su me. Seminare sam mogao održavati uz pomoć tumača, a mogao sam i diktirati znanstvene radove. Ali neko vrijeme poslije operacije bio sam uništen. Mislio sam da, ne vrati li mi se glas, nema smisla nastaviti tako dalje.

SUE: A onda je jedan kalifornijski stručnjak za računala čitao o vašoj nevolji i poslao vam glas. Kako radi?

STEPHEN: Ime mu je Walt Woltoz. Njegova je punica bolovala od iste bolesti kao ja, pa je on napisao računalni program ne bi li joj pomogao komunicirati. Po zaslonu ide kursor. Kad se nađe na opciji koju tražite, uključite prekidač, glavom, ili pokretom očiju, ili, u mom slučaju, rukom. Tako birate riječi koje se ispisuju na donjem dijelu ekrana. Kad složite što želite reći, možete to poslati sintetizatoru govora ili spremi na disk.

SUE: Ali to je sporo.

STEPHEN: Sporo je, oko deset puta sporije od normalnog govora. Ali sintetizator govora je znatno razgovjetniji nego što sam ja prije bio. Britanci opisuju njegov izgovor kao američki, a Amerikanci kažu da je skandinavski ili irski. Dok mi se govor pogoršavao, moja su mu se starija djeca prilagođavala, ali najmlađi sin, kojemu je u vrijeme moje traheotomije bilo samo šest godina, nije me mogao razumjeti. Sada nema teškoća. To mi mnogo znači.

SUE: Ali to također znači da od svakoga tko vas intervjuira morate tražiti pitanja znatno unaprijed i odgovarate tek kad ste spremni i gotovi, zar ne?

STEPHEN: Za duge, snimljene emisije poput ove, pomaže mi kad unaprijed doznam pitanja, pa ne moram trošiti sate i sate vrpce za snimanje. To mi na neki način daje više vlasti. Ali zapravo radije odgovaram neposredno. Radim to poslije seminara i javnih predavanja.

SUE: Ali, kako kažete, taj proces znači da vi imate vlast i znam da vam je to prilično važno. Obitelj i prijatelji katkad vas opisuju tvrdoglavim ili tiranski raspoloženim. Priznajete li to?

STEPHEN: Svakoga tko ima imalo samosvijesti ponekad zovu tvrdoglavim. Radije bih rekao da sam odlučan. Da nisam prilično odlučan, ne bi me sada bilo ovdje.

SUE: Jeste li oduvijek takvi?

STEPHEN: Ja samo želim imati isti stupanj vlasti nad sobom kao drugi ljudi. Prečesto invalidi podnose da njihovim životima upravljaju drugi. Nitko tjelesno zdrav ne bi to podnosio.

SUE: Čujmo vašu drugu ploču.

STEPHEN: Brahmsov Violinski koncert. Bila je to prva LP ploča koju sam kupio. Bilo je to 1957. godine i ploče na 33 okretaja u minuti upravo su se bile pojavile u Britaniji. Moj bi otac kupovanje gramofona ocijenio bezobzirnim ugađanjem svojim slabostima, ali ja sam ga uvjerio da ću moći sklopiti gramofon od dijelova koje ću jeftino kupiti. Njemu se to kao Jorkšircu svidjelo. Tanjur i pojačalo stavio sam u kućište nekoga starog gramofona na 78 okretaja. Da sam ga sačuvao, danas bi bio vrlo vrijedan.

Sagradiвши taj gramofon, trebao sam nešto što će na njemu svirati. Kolega iz škole predložio mi je Brahmsov Violinski koncert, jer ga nitko od našeg društva u školi nije imao na ploči. Sjećam se da je stajao trideset i pet šilinga, što je tada bilo vrlo mnogo, pogotovo za mene. Cijene ploča porasle su, ali su sada realno znatno niže.

Kad sam tu ploču prvi put čuo u prodavaonici, pomislio sam kako zvuči prilično čudno i nisam baš bio siguran da mi se sviđa, no imao sam dojam da moram reći da mi se sviđa. Međutim, s vremenom mi je počeo mnogo značiti. Pustio bih početak polaganog stavka.

SUE: Jedan je stari kućni prijatelj rekao da je vaša obitelj u vrijeme vašeg djetinjstva bila, citiram: "vrlo intelektualna, vrlo pametna i vrlo ekscentrična." Kad se toga sjetite, mislite li da je to točan opis?

STEPHEN: Ne mogu reći je li mi obitelj bila intelektualna, ali ni u kom slučaju nismo imali dojam da smo ekscentrični. Međutim, valjda smo mogli ostavljati takav dojam po mjerilima St. Albansa, koji je dok smo mi tamo živjeli bio prilično smireno mjesto.

SUE: A otac vam je bio specijalist za tropske bolesti.

STEPHEN: Moj je otac istraživao tropske bolesti. Prilično je često putovao u Afriku, gdje je na terenu ispitivao nove lijekove.

SUE: Je li dakle na vas više utjecala vaša mati, i, ako jest, kako biste opisali taj utjecaj?

STEPHEN: Ne, rekao bih da je veći utjecaj bio očev. Ja sam se oblikovao prema njemu. Budući da je on bio znanstveni istraživač, ja sam znanstvena istraživanja držao prirodnom stvari kojom bi se trebalo baviti kad od-rasteš. Jedina je razlika u tome što me nije privlačila medicina ni biologija, jer su mi se činile nedovoljno egzaktnima i previše opisnima. Htio sam nešto fundamen-talnije, a to sam našao u fizici.

SUE: Vaša je mati rekla da ste uvijek imali nešto što je nazvala jakim smislom za čuđenje. Rekla je: "Vidjelo se da bi ga zvijezde mogle privući." Sjećate li se toga?

STEPHEN: Sjećam se kako sam se jedne noći kasno vraćao iz Londona. U ono su vrijeme u ponoć gasili javnu rasvjetu ne bi li tako uštedjeli. Vidio sam noćno nebo kako ga nikad prije nisam vidio i kako se preko njega širi Mliječna Staza. Na mom pustom otoku neće biti javne rasvjete pa bi mi pogled na zvijezde trebao biti dobar.

SUE: Očito ste kao dijete bili vrlo bistri, u igri ste sestri bili jak suparnik kod kuće, ali u školi ste znali biti gotovo zadnji u razredu, a da vam je to bilo potpuno svejedno, zar ne?

STEPHEN: To je bilo prve godine u St. Albansu. Ali moram reći da je to bio vrlo bistar razred i da sam na ispitima bio znatno bolji nego u razrednoj nastavi. Bio sam siguran da mogu biti dobar — to što sam bio na dnu razreda bila je stvar moga rukopisa i opće neurednosti.

SUE: Ploča broj tri?

STEPHEN: Kad sam bio student na Oxfordu, čitao sam roman Aldousa Huxleya *Kontrapunkt*. Taj je roman zamišljen kao slika tridesetih godina i ima golem broj likova. Mnogi su prilično papirnati, ali ima tamo jedan koji je znatno ljudskiji i koji je očito uobličen prema samome Huxleyu. Taj je čovjek ubio vođu britanskih fašista, lik stvoren prema sir Oswaldu Mosleyu. Zatim je obavijestio Partiju da je to učinio i stavio gramofonske ploče Beethovenova Gudačkog kvarteta op. 132. Usred trećeg stavka otvorio je vrata i fašisti su ga ubili.

To je doista vrlo loš roman, no Huxley je dobro izabrao glazbu. Kad bih znao da dolazi plimni val koji će preplaviti moj pusti otok, pustio bih treći stavak toga kvarteta.

SUE: Išli ste na Oxford, na University College, učiti matematiku i fiziku, gdje ste prema svojim vlastitim proračunima, radili prosječno jedan sat dnevno. Ali, sudeći po onome što sam čitala, mora se reći da ste veslali, pili pivo i s dosta zadovoljstva zbijali šale s ljudima. U čemu je bila stvar? Zašto vas se nije moglo natjerati na rad?

STEPHEN: Bio je to kraj pedesetih i većina mladih ljudi bila je razočarana onim što se nazivalo poretkom. Činilo se da se nemamo čemu nadati nego samo stjecanju i novom stjecanju. Konzervativci su upravo bili postigli svoju treću uzastopnu izbornu pobjedu s parolom: "Nikad vam nije bilo tako dobro." Meni i većini mojih suvremenika život je bio dosadan.

SUE: A ipak ste uspijevali u nekoliko sati riješiti probleme koje vaši kolege nisu uspijevali riješiti u mnogo tjedana. *Oni* su očito bili svjesni, sudeći prema onome što su poslije govorili, da ste vi iznimno nadareni. Što mislite, jeste li bili toga svjesni?

STEPHEN: Fizika je na Oxfordu bila smiješno laka. Moglo se proći i ne pohađajući predavanja; bilo je dovoljno nekoliko vježbi i konzultacija tjedno. Nije se moralo pamtit mnogo činjenica, nego samo nekoliko jednadžbi.

SUE: U Oxfordu ste, zar ne, prvi put primijetili da vam ruke i noge ne rade baš ono što od njih očekujete. Kako ste to tada sami sebi tumačili?

STEPHEN: Zapravo je prvo što sam primijetio bilo da ne mogu kako treba veslati na pariće. Zatim mi se dogodio gadan pad niz stube koje vode iz sobe za mlađe studente. Nakon toga pada otišao sam liječniku, jer sam se zabrinuo da možda imam kakvo oštećenje mozga, no on je mislio da mi nije ništa i rekao mi da smanjim pivo. Nakon završnog ispita na Oxfordu, preko ljeta sam otišao u Perziju. Kad sam se vratio, bio sam slabiji, no mislio sam da je uzrok tome što sam gadno pokvario želudac.

SUE: A kada ste morali popustiti i priznati da nešto doista nije u redu i da morate zatražiti liječničku pomoć?

STEPHEN: Već sam bio u Cambridgeu i za Božić sam pošao kući. Bilo je to vrlo hladne zime 1962 na 1963. Mati me nagovorila da se pođem sklizati na jezero u St. Albansu, iako sam znao da nisam baš u formi za to. Pao sam i vrlo sam se teško digao. Majka je tada shvatila da nešto nije u redu. Odvela me obiteljskom liječniku.

SUE: A zatim, tri tjedna u bolnici, pa su vam priopćili najgore?

STEPHEN: U stvari, bila je to bolnica Barts u Londonu, jer je moj otac tamo radio. U njoj sam bio dva tjedna, na pretragama, ali nikad mi nisu doista rekli što nije u redu, osim da to nije multipla skleroza i da to nije tipičan slučaj. Nisu mi rekli kakvi su mi izgledi, ali ono što sam nagađao pokazalo mi je da su vrlo loši pa nisam ni htio pitati.

SUE: I napokon su vam zapravo rekli da vam preo-staje samo nekoliko godina života. Zastanimo sada i po-slušajmo vašu sljedeću ploču.

STEPHEN: *Valkure*, prvi čin. I to je bila stara LP ploča, s Melchiorom i Lehmannom. Izvorno je bila snimljena na 78 okreta još prije rata i prenesena na LP ranih šezdesetih. Nakon što mi je 1963. dijagnosticirana bolest motornih neurona, okrenuo sam se Wagneru, koji je odgovarao mračnom i apokaliptičnom raspoloženju u kojem sam bio. Na nesreću, moj sintetizator govora nije jako učen i izgovara ga s mekim *W*. Moram sricati V-A-R-G-N-E-R želim li da zazvuči otprilike kako treba.

Četiri opere iz ciklusa *Ring* Wagnerovo su najveće djelo. Pošao sam ih u Bayreuth pogledati sa svojom sestrom Philippom 1964. godine. *Ring* tada nisam dobro poznao a *Valkure*, druga opera u ciklusu, ostavila je na mene dubok dojam. Bila je to produkcija Wolfganga Wagnera, a pozornica je bila gotovo potpuno tamna. To je ljubavna priča o blizancima, Siegmundu i Sieglinde, koji su u djetinjstvu bili razdvojeni. Ponovo se susreću kad se Siegmund skloni u kuću Hundinga, Sieglindina muža i svoga neprijatelja. Izabrao sam dio gdje Sieglinde priča o svojoj prisilnoj udaji za Hundinga. Usred slavlja, u dvoranu ulazi starac. Orkestar svira motiv Valhalle, jednu od najplemenitijih tema *Ringa*, jer on je Wotan, vođa bogova i otac Siegmunda i Sieglinde. On zabija mač u deblo nekoga stabla. Mač je namijenjen Siegmundu. Na kraju toga čina Siegmund ga izvlači i njih dvoje bježe u šumu.

SUE: Čitajući o vama, Stephen, gotovo kao da se stiče dojam kako vas je smrtna presuda koja vam je rečena, da ćete živjeti samo još dvije-tri godine, probudila, ili ako vam se to više sviđa, da vas je natjerala da se koncentirate na život.

STEPHEN: Prvi joj je učinak bio da me potištila. Činilo se da mi prilično brzo postaje sve gore. Činilo se da

nema smisla nastaviti raditi na doktoratu, jer nisam znao hoću li poživjeti da ga završim. Ali zatim su se stvari počele popravljati. Bolest je napredovala sporije i počeo sam napredovati u radu, pogotovo u dokazivanju da je svemir morao početi Velikim praskom.

SUE: U jednom ste intervjuu čak izjavili kako mislite da ste sada sretniji nego prije no što ste se razboljeli.

STEPHEN: Svakako sam sada sretniji. Prije nego što sam dobio bolest motornih neurona, bilo mi je dosta života. Ali vjerojatnost brze smrti natjerala me da shvatim kako život vrijedi živjeti. Mnogo je toga što se može učiniti, toliko toga što svatko može učiniti. Imam stvaran dojam postignuća da sam, unatoč svojoj bolesti, dao skroman, ali primjetan doprinos ljudskom znanju. Naravno, imao sam sreće, ali svatko može nešto postići, ako se samo potruđi.

SUE: Biste li pošli tako daleko da kažete kako da nije bilo bolesti motornih neurona možda ne biste postigli sve što ste postigli, ili je to pretjerano pojednostavljeno?

STEPHEN: Ne, ne bih rekao da je bolest motornih neurona ikome dala ikakvu prednost. Ali meni je bila manja smetnja nego drugima, jer me nije spriječila da radim ono što sam htio, a to je pokušati shvatiti kako je uređen svemir.

SUE: Druga vaša inspiracija dok ste se pokušavali snaći s bolešću, bila je mlada žena imenom Jane Wilde, s kojom ste se upoznali na jednom domjenku, zaljubili i poslije oženili. Koliki dio svoga uspjeha mislite da duguje njoj, Jane?

STEPHEN: Sigurno je da mi to ne bi uspjelo bez nje. To što sam s njom bio zaručen, podiglo me iz gliba malodušnosti u kojem sam se nalazio. A ako smo se htjeli vjenčati, morao sam naći posao i doktorirati. Počeo sam se truditi i otkrio da mi se to sviđa. Dok mi se stanje pogoršavalo, Jane se za mene brinula sama. U toj fazi nitko se nije nudio da nam pomogne, a mi si dakako nismo mogli priuštiti plaćanje pomoći.

SUE: A zajedno ste prkosili liječnicima, ne samo tako što ste nastavili živjeti, nego i time što ste imali djecu. Dobili ste Roberta 1967., Lucy 1970., pa Timothyja 1979. Koliko je to šokiralo liječnike?

STEPHEN: Liječnik koji mi je bolest dijagnosticirao zapravo je digao ruke od mene. Mislio je da se ništa ne može učiniti. Nakon početne dijagnoze nisam ga više vidio. Zapravo je moj otac postao mojim liječnikom i njemu sam se obratio za savjet. Rekao mi je kako nema podataka da bi ta bolest bila nasljedna. Jane se uspijevala brinuti za mene i dvoje djece. Tek kad smo 1974. godine otišli u Kaliforniju, morali smo primiti vanjsku pomoć, najprije studenta koji je živio s nama, a poslije medicinske sestre.

SUE: Ali sada vi i Jane više niste zajedno.

STEPHEN: Nakon traheotomije postala mi je nužna njega dvadeset i četiri sata na dan. To je našem braku postajalo sve većim i većim opterećenjem. S vremenom sam se odselio, pa sada živim u novom stanu u Cambridgeu. Sada smo razdvojeni.

SUE: Čujmo još glazbe.

STEPHEN: The Beatles, "Please Please Me". Nakon moja prva četiri prilično ozbiljna izbora, trebalo bi mi nešto opuštanja. Meni i mnogima drugima Beatlesi su došli kao dobrodošao svjež vjetar u prilično ustajalu i bo-ležljivu pop-scenu. Obično sam nedjeljom navečer slušao *top twenty* na Radio Luxemburgu.

SUE: Bez obzira na sve počasti kojima obasipaju vas, Stephena Hawkinga — a morala bih tu posebno spomenuti da ste lukasovski profesor matematike na Cambrid-geu, na katedri Isaaca Newtona — odlučili ste napisati popularnu knjigu o svom radu iz, mislim, vrlo jednostavnog razloga. Trebao vam je novac.

STEPHEN: Iako sam mislio da bih na popularnoj knjizi mogao zaraditi pristojnu svotu, glavni razlog zašto sam napisao *Kratku povijest vremena* bio je što sam u tome uživao. Bio sam ushićen otkrićima postignutim posljednjih dvadeset i pet godina i htio sam ih priopćiti ljudima. Nisam očekivao da će postići takav uspjeh.

SUE: A doista je srušila sve rekorde i došla u *Guinnessovu knjigu rekorda* kao knjiga koja je najduže bila na listi uspješnica i još je tamo. Čini se da nitko i ne zna koliko je primjeraka prodano širom svijeta, ali svakako ih je više od deset milijuna. Ljudi je očito kupuju, ali stalno se ponavlja jedno pitanje: Čitaju li je?

STEPHEN: Znam da je Bernard Levin zapeo na dva-deset i devetnoj stranici, ali i mnoge koji su došli dalje. Svugdje u svijetu ljudi mi prilaze i govore koliko su u njoj uživali. Možda nisu pročitali do kraja i shvatili sve što su pročitali. Ali shvatili su da živimo u svemiru kojim upravljaju racionalni zakoni koje možemo otkriti i shvatiti.

SUE: Pozornost javnosti prve su privukle crne jame i one su potakle obnovljeno zanimanje javnosti za kozmologiju. Jeste li gledali sve one *Zvezdane staze*, "hrabro poći kamo nikad nijedan čovjek nikad nije pošao?" i tako dalje, i, ako jeste, jeste li u njima uživali?

STEPHEN: Kao tinejdžer, čitao sam mnogo znanstvene fantastike. Ali sada kada i sam radim na tom području, najveći mi se dio znanstvene fantastike čini pretjerano pojednostavljenim. Lako je pisati o hiperprostornom pogonu ili o prijenosu ljudi zrakama, kad to ne morate uklopiti u cjelovitu sliku. Stvarna je znanost znatno uzbudljivija, jer se ona doista negdje događa. Pisci znanstvene fantastike nisu opisivali crne jame sve dok ih znanstvenici nisu smislili. A sada imamo jasne podatke o većem broju crnih jama.

SUE: Što bi vam se dogodilo kad biste upali u crnu jamu?

STEPHEN: Tko god čita znanstvenu fantastiku znade što se događa kad upadnete u crnu jamu. Sfašira vas u rezance. Ali još je zanimljivije to što crne jame nisu potpuno crne. Stalno i jednolično ispuštaju čestice i zračenja. Tako crna jama polako hlapi, ali ne zna se što poslije bude s crnom jamom i njezinim sadržajem. To je uzbudljivo područje istraživanja, no pisci znanstvene fantastike još nisu uhvatili korak s tim.

SUE: A to zračenje koje spominjete zove se, naravno, Hawkingovo zračenje. Vi niste otkrili crne jame, no nastavili ste otkrićem da nisu potpuno crne. A nije li vas i njihovo otkriće navelo na ideju da počnete pobliže razmišljati o početku svemira.

STEPHEN: Urušavanje zvijezde u crnu jamu umnogome je obrnut proces od ekspanzije svemira. Zvijezda propada iz stanja prilično niske gustoće u stanje visoke gustoće. A svemir se širi iz stanja vrlo visoke gustoće prema nižim gustoćama. Postoji jedna bitna razlika: mi smo izvan crne jame, ali smo unutar svemira. A za oboje je karakteristično toplinsko zračenje.

SUE: Kažete da se ne zna što se dalje događa s crnom jamom i njezinim sadržajem. Ali mislila sam da teorija kaže kako se sve što nestane u crnoj jami, pa i astronaut, vremenom reciklira u oblik Hawkingove radijacije.

STEPHEN: Energija astronautove mase reciklirat će se kao zračenje poslano iz crne jame. Ali sam astronaut, pa čak ni čestice koje ga čine, neće izići iz crne jame. Pitanje je, dakle, što će se dogoditi s njima? Jesu li uništeni ili prelaze u drugi svemir? To je nešto što bih jako volio znati, iako i ne pomišljam na to da skočim u crnu jamu.

SUE: Stephen, radite li vi po intuiciji — odnosno, dolazite li do teorije tako što vam se ona sviđa, pa se bacite na to da je dokažete? Ili se kao znanstvenik uvijek morate kretati logično prema zaključku, ne usuđujući se pogoditi ga unaprijed?

STEPHEN: U velikoj se mjeri oslanjam na intuiciju. Nastojim pogoditi rezultat, ali ga moram dokazati. U toj fazi često otkrijem da ono što sam pomislio nije točno ili da je riječ o nečemu drugom, na što nisam ni pomislio. Tako sam otkrio da crne jame nisu potpuno crne. Nastojao sam dokazati nešto sasvim drugo.

SUE: Još glazbe.

STEPHEN: Mozart mi je oduvijek bio jedan od najdražih. Napisao je nevjerojatno mnogo glazbe. Ove sam godine za pedeseti rođendan dobio njegova sabrana djela na CD-ima, više od dvjesto sati. Još se probijam kroz to. Jedno od najvećih djela je *Requiem*. Mozart je umro prije dovršetka *Requiem*a, a iz fragmenata koje je Mozart ostavio dovršio ga je neki njegov učenik. Uvod koji ćemo čuti jedini je dio koji je Mozart potpuno sam napisao i orkestrirao.

SUE: Jako pojednostavljeno rečeno, a, Stephen, nadam se da ćete mi to oprostiti, vi ste nekad vjerovali, kako sam ja to shvatila, da je postojao trenutak nastanka, Veliki prasak, ali više ne vjerujete da je bilo tako. Vjerujete da nije bilo početka i da nema kraja, da je svemir zaokružen u samome sebi. Znači li to da nije bilo čina stvaranja i da dakle nema mjesta za Boga?

STEPHEN: Da, doista ste pretjerano pojednostavnili. Ja još uvijek vjerujem da svemir ima početak u stvarnom vremenu, u Velikom prasku. Ali postoji i drugo vrijeme, imaginarno vrijeme, koje je okomito na realno vrijeme i u kojem svemir nema ni početka ni kraja. To bi značilo da je način kako je svemir nastao određen fizikalnim zakonima. Ne bismo morali reći da je Bog odlučio pokrenuti svemir na neki proizvoljan način koji mi ne bismo bili u stanju razumjeti. Teorija ništa ne kaže o Božjem postojanju ili nepostojanju — samo da On ne postupa samovoljno.

SUE: Ali kako, ako je moguće da Boga nema, tumačite sve ono što je neobjašnjivo znanošću: ljubav, vjera koju su ljudi imali i imaju u vas, pa i sama vaša inspiracija?

STEPHEN: Ljubav, vjera i moral pripadaju u fizici jednoj drukčijoj kategoriji. Ne možete po zakonima fizike zaključiti kako bi se trebalo ponašati. Ali možemo se nadati da logična misao kakva je nužna u matematici i fizici također navodi čovjeka na moralno ponašanje.

SUE: Ali mislim da mnogi drže kako ste se vi zapravo odijelili od Boga. Znači li to da to poričete?

STEPHEN: Sve što je moj rad pokazao jest da ne morate reći da je početak svemira bio Božji hir. Ali ostaje pitanje: Zašto se svemir uopće potrudio postojati? Ako hoćete, možete Boga označiti kao odgovor na to pitanje.

SUE: Čujmo ploču broj sedam.

STEPHEN: Jako volim operu. Pomišljao sam i da bih za svih osam ploča mogao uzeti operu, u rasponu od Glucka i Mozarta preko Wagnera, do Verdija i Puccinija. Ali na kraju sam to srezao na dvije opere. Jedna je morala biti Wagner, a za drugu sam odlučio da bude Puccini. *Turandot* je njegova daleko najveća opera, a opet, i on je umro ne dovršivši je. Dio koji sam izabrao je onaj gdje *Turandot* priča kako je neka princeza iz davne Kine oteta i kako su je Mongoli odveli. U znak osвете, *Turandot* će svojim proscima postaviti tri pitanja. Ne odgovore li, bit će pogubljeni.

SUE: Što vama znači Božić?

STEPHEN: Donekle je nalik na američki Dan zahvalnosti, vrijeme druženja s obitelji i zahvalnosti za sve u prošloj godini. To je i vrijeme kada s nadom gledaš u godinu koja dolazi i koju simbolizira dijete u štalici.

SUE: A budimo materijalisti, kakve ste poklone željeli — ili ste sada tako imućni da imate sve.

STEPHEN: Volim iznenađenja. Ako nešto tražiš, ne daješ onome tko daje nikakvu slobodu ni priliku da pokrene maštu. Ali nije mi krivo ako se zna da volim punjene čokoladne bombone.

SUE: Vi ste, Stephen, dosad poživjeli trideset godina više nego što su vam predviđali. Otac ste djeci za koju su vam rekli da ih ne možete imati, napisali ste uspješnu knjigu, naglavce ste preokrenuli uvriježena vjerovanja o vremenu i prostoru. Što još kanite prije odlaska s ovog planeta?

STEPHEN: Sve je to moguće samo zato što sam imao sreće da sam dobio mnogo pomoći. Drago mi je što sam uspio postići, ali ima još mnogo toga što bih htio učiniti prije nego umrem. Ne govorim o privatnom životu, nego znanstvenom. Rado bih znao kako spojiti gravitaciju s kvantnom mehanikom i ostalim prirodnim silama. Posebice želim znati što se događa s crnom jamom kad ispari.

SUE: A sada zadnja ploča.

STEPHEN: Ovo ćete vi morati izgovoriti. Moj je sin-tetizator govora američki i beznadan je u francuskom. To Edith Piaf pjeva "*Je ne regrette rien*". To otprilike zaokružuje moj život.

SUE: A sada, Stephen, kad biste sa sobom mogli ponijeti samo jednu od ovih osam ploča, koja bi to bila?

STEPHEN: Morao bi to biti Mozartov *Requiem*. Mo-
gao bih ga slušati dok god se ne potroše baterije mog
CD Walkmana. .

SUE: A knjiga? Naravno, cjelokupna
Shakespeareo-va djela i Biblija već vas čekaju.

STEPHEN: Mislim da ću ponijeti *Middlemarch*
Ge-orgea Eliota. Netko je, mislim da je to bila
Virginia Wo-olf, rekao da je to knjiga za odrasle.
Nisam siguran da sam već odrasao, ali pokušat ću.

SUE: A luksuzni predmet?

STEPHEN: Zamolio bih za veliku zalihu *creme*
bru-lee. Za mene je to simbol luksuza.

SUE: Dakle ne punjeni čokoladni bomboni, nego ve-
lika zaliha karamelne kreme. Bio je ovo dr. Stephen
Hawking; hvala vam što ste nam omogućili da
čujemo vaše ploče za pusti otok i sretan vam Božić.

STEPHEN: Hvala vama što ste me izabrali. Sa svoga
pustog otoka svima vam želim sretan Božić. Kladim
se da je kod mene vrijeme ljepše nego u vas.