

**STIVEN HOKING  
KRATKA  
POVEST  
VREMENA**



## ZAHVALNICE

Odlučio sam da pokušam da napišem jednu popularnu knjigu o prostoru i vremenu pošto sam 1982. održao na Lebovoj katedri na Harvardu niz predavanja. Već je postojao priličan broj knjiga o ranoj Vaseljenu i crnim rupama, u rasponu od veoma dobrih, kao što je Vajnbergovo delo Prva tri minuta, do veoma rđavih, koje neću pominjati. No, došao sam do zaključka da se nijedna od njih ne bavi uistinu pitanjima koja su mene uputila ka izučavanju kosmologije i kvantne teorije. Odakle potiče Vaseljenu? Kako je i zašto počela? Da li će se okončati i, ako do toga dođe, kako će se to odigrati? Postoje pitanja koja su od interesa za sve nas. Ali moderna nauka postala je tako tehnička, da je samo veoma mali broj stručnjaka kadar da se razabere u matematici koja se tu koristi. No, osnovne zamisli o nastanku i sudbini Vaseljenu mogu se izložiti i bez matematike, na način koji je dostupan ljudima bez naučnog obrazovanja. Upravo sam ja to pokušao da učinim u ovoj knjizi. Na čitaocu je da prosudi koliko sam u tome uspeo.

Neko mi je kazao da ću, kad god uvedem neku jednačinu u knjigu, prepoloviti broj njenih kupaca. Odlučio sam stoga da potpuno izostavim sve jednačine. No, na kraju sam, ipak odstupio od ove odluke, navevši znamenitu Ajnštajnovu jednačinu,  $E = mc^2$ . Nadam se da ovaj prizor nije prestravio polovinu mojih potencijalnih čitalaca. Izuzme li se to što sam imao nesreću da obolim od amiotrofičke lateralne skleroze, ili motoričke neuronske bolesti, bio sam srećan u gotovo svim drugim pogledima. Pomoć i podrška koje su mi pružili moja supruga Džejn i deca Robert, Lusi i Timi omogućile su mi da vodim prilično normalan život i da imam uspešnu karijeru. Takođe sam imao sreće u tome da se opredelim za teorijsku fiziku, zato što je ova vezana isključivo za umni rad. Moja bolest se, dakle, u ovom pogledu nije pokazala kao ozbiljan hendikep. Uz to, moje kolege-naučnici takođe su mi bez izuzetka bili od velike pomoći.

U prvoj, 'klasičnoj' fazi moje karijere kolege sa kojima sam najviše saradivao bili su Rodžer Penrouz, Robert Geroč, Brendon Karter i Džordž Elis. Zahvalan sam im na pomoći koju su mi pružili, kao i na radu koji smo zajedno obavili. Ova faza izložena je u knjizi,

Makrokosmičko ustrojstvo prostorvremena, koju smo Elis i ja napisali 1973. Ne bih savetovao čitaoce ove knjige da konsultuju to delo radi daljnjih informacija: ono je veoma tehničko i sasvim nečitljivo. Nadam se da sam od tada naučio kako da pišem na način koji je lakše shvatljiv.

U drugoj, 'kvantnoj' fazi mog rada, koja je počela 1974, glavni saradnici bili su mi Gari Gibson, Don Pejdž i Džim Hartl. Veoma sam im zahvalan, baš kao i studentima-istraživačima, na velikoj pomoći koju su mi pružili, kako u fizičkom tako i u teorijskom smislu. Obaveza da budem na visini sa studentima predstavljala je veliki podsticaj i sprečila me je, nadam se, da se ne zaglibim u rutinski univerzitetski život.

Značajnu pomoć u pisanju ove knjige pružio mi je Brajan Vit, jedan od mojih studenata. Dobio sam zapaljenje pluća 1985, pošto sam napisao prvu verziju. Morao sam da budem podvrgnut traheostomskoj operaciji koja mi je uskratila sposobnost govorenja, što mi je gotovo sasvim onemogućilo opštenje. Mislio sam tada da neću biti kadar da knjigu privedem kraju. Brajan mi je, međutim, pomogao ne samo da je preradim, nego i da savladam jedan komunikacioni program koji se naziva 'Živo središte' i koji mi je poklonio Volt Voltos, iz kompanije 'Words Plus', u Sanivejlu, Kalifornija. Pomoću ovog programa ne samo što mogu da pišem knjige i naučne radove, nego sam u stanju i da opštim sa ljudima pomoću jednog sintesajzera govora koji sam dobio na dar od kompanije 'Speech Plus', takođe iz Sanivejla, Kalifornija. Ovaj sintesajzer i mali lični računar montirao je na moja invalidska kolica Dejvid Mejsn. Sistem je predstavljao istinsko poboljšanje. U stvari, sada uspešnije obavljam opštenje nego pre no što sam izgubio glas. Veliki broj ljudi koji su videli ranije verzije izneli su niz predloga kako da poboljšam knjigu. Ovo se pre svega odnosi na Pitera Guzardija, moga urednika u izdavačkoj kući 'Bantam Books', koji mi je poslao stranice i stranice komentara i pitanja vezanih za mesta koja su mu se činila nedovoljno objašnjena. Moram priznati da sam bio prilično rasrđen kada sam primio njegov dugačak spisak stvari koje je valjalo promeniti, ali sada je jasno da je bio sasvim u pravu. Uveren sam da je njegovo insistiranje na neprekidnom doterivanju rukopisa urodilo boljom knjigom.

Takođe sam veoma zahvalan mojim asistentima, Kolinu Vilijemu, Dejvidu Tomasu i Rejmondu Laflemu; mojim sekretaricama Džudi Feli, En Ralf, Čeril Bilington i Sju Mejsi; kao i ekipi mojih negovateljica i bolničarki. Ništa od svega ovoga ne bi bilo moguće bez finansijske podrške mojim istraživanjima, kao i pokrivanja medicinskih troškova, za šta su se postarali koledž Gonvil i Kiz, Savez za naučna i inženjerska izučavanja, kao i zadužbine Leverhulm, Mek Artur, Nafild i Ralf Smit. Svima njima dugujem zahvalnost.

Stiven Hoking

20. oktobar 1987.

## UVOD

Mi živimo naše svakodnevne živote, gotovo uopšte ne razumevajući svet. I ne pomišljamo na mašineriju koja tvori Sunčevu svetlost što omogućuje postojanje života, na gravitaciju što nas prikiva za Zemlju koja bi nas inače u trenu izbacila put kosmosa, ili na atome iz kojih smo sazdani i od čije stabilnosti zavisimo na temeljan način. Izuzmu li se deca (koja još ne znaju dovoljno da ne postavljaju važna pitanja), tek se retki među nama udubljuju u odgonetanje velikih tajni: zašto je priroda upravo ovakva kakva je; odakle potiče kosmos i da li je oduvek postojao; da li će vreme jednoga dana početi da teče unazad, tako da će posledice prethoditi uzrocima; ili da li ima konačnih granica onome što ljudi mogu da znaju? Postoje čak i deca - ja sam sreo neku od njih - koja žele da znaju kako izgleda jedna crna rupa; koji je najmanji delić materije; zašto pamtimo prošlost, a ne i budućnost; kako to da je danas, naizgled, red, ako je prethodno bio kaos; i zašto, postoji Vasseljena?

U našem društvu i dalje je uobičajeno da roditelji i učitelji odgovaraju na ova pitanja sleganjem ramenima ili pozivanjem na nejasno upamćena religijska uputstva. Neki se osećaju nelagodno kada se nađu suočeni sa ovakvim stvarima, zato što one tako živo dočaravaju ograničenja ljudske moći shvatanja.

Ali u temelju najvećeg dela filozofije i nauke stoje upravo takva pitanja. Sve veći broj odraslih spreman je da se upusti u ovakva razmišljanja, iz kojih se povremeno izrode fantastični odgovori. Podjednako udaljeni od atoma i zvezda, mi proširujemo naše istraživačke vidike da bismo obuhvatili kako ono što je veoma malo, tako i ono što je veoma veliko.

U proleće 1974, oko dve godine pre no što se kosmička sonda 'Viking' spustila na Mars, prisustvovao sam jednom skupu u Engleskoj, pod okriljem Kraljevskog društva iz Londona, na kome su se razmatrala pitanja traganja za vanzemaljskim životom. Za vreme pauze zapazio sam da se u susednoj dvorani održavao jedan znatno veći skup, kome sam se iz radoznalosti pridružio. Uskoro sam shvatio da prisustvujem jednom drevnom obredu, primanju novih članova u Kraljevsko društvo, koje predstavlja jednu od najstarijih

naučnih organizacija na planeti. U prvom redu, jedan mladić u invalidskim kolicima sasvim lagano je upisivao svoje ime u knjigu na čijoj se prvoj strani nalazio potpis Isaka Njutna. Kada je konačno završio, sa svih strana razlegao se gromki pljesak. Stiven Hokin je već tada predstavljao legendu.

Hoking je sada profesor matematike na Lukasovoj katedri Kembridžskog univerziteta. Oglašava se sa istog mesta odakle su to nekada činili Njutn, a kasnije i P. A. M. Dirak, dvojica slavni istraživača veoma velikog i veoma malog. On je svakako njihov dostojan nastavljajući. Hokingova prva knjiga namenjena nestručnjacima višestruko je zanimljiva za laičku publiku. Ona ne samo što se odlikuje širokim tematskim repertoarom, nego i pruža uvid u način na koji deluje autorov um. U njoj se nalaze lucidna otkrovenja o graničnim područjima fizike, astronomije, kosmologije i hrabrosti.

Ovo je takođe knjiga o Bogu... ili možda o odsustvu Boga. Reč Bog ispunjava ove stranice. Hoking se otiskuje u traganje za odgovorom na Ajnštajnovu znamenitu pitaju o tome da li je Bog imao bilo kakav izbor pri stvaranju Vaseljene. On pokušava, kako to sam nedvosmisleno tvrdi, da dokuči Božji um. A to čini tim neočekivaniji zaključak do koga dolazi, bar za sada: Vaseljena bez granica u prostoru, bez početka ili kraja u vremenu, i bez ičega što bi Tvorac tu radio.

Karl Segal  
Univerzitet Kornel,  
Itaka, Njujork

## **1. NAŠA SLIKA VASELJENE**

Jednom prilikom neki poznati naučnik (kažu da je to bio Bertrand Rasel) držao je predavanje iz astronomije. Objašnjavao je kako Zemlja kruži oko Sunca i kako Sunce, sa svoje strane, kruži oko središta ogromnog skupa zvezda koji se naziva naša Galaksija. Na kraju predavanja, u dnu sale ustala je jedna oniža stara gospođa i rekla: "Sve to što ste nam ispričali obična je besmislica. Svet je, zapravo, ravna ploča koja se nalazi na leđima džinovske kornjače."

Na naučnikovim usnama pojavio se nadmoćni smešak pre no što je uzvratilo: "A na čemu stoji kornjača?" "Veoma ste pametni mladiću, veoma pametni", odgovorila je stara gospođa. "Ali kornjače se pružaju sve do kraja!"

Predstava o Vaseljenu kao o beskrajnom nizu kornjača mnogima bi izgledala smešno, ali zbog čega smatramo da smo u ovom pogledu bolje upućeni u stvar? Šta, u stvari, znamo o Vaseljenu i kako to znamo? Odakle Vaseljenu potiče i kuda ide? Da li je Vaseljenu imala početak, a ako jeste, šta je onda bilo pre njega? Kakva je priroda vremena? Da li će se ikada okončati? Najnovija dostignuća na polju fizike, što su ih delimično omogućile fantastične nove tehnologije, nagoveštavaju odgovore na neka od ovih pitanja sa kojima se odavno suočavamo. Ti odgovori će nam jednoga dana izgledati podjednako očigledni kao što nam je očigledno da Zemlja kruži oko Sunca ili podjednako smešni kao što nam je smešna zamisao o kuli kornjača. Tek će vreme (ma šta ono bilo) pokazati šta će biti od ovoga dvoga.

Još 340. godine pre nove ere, starogrčki filozof Aristotel našao se u prilici da u svojoj knjizi, O nebu, izloži dva valjana razloga za verovanje da je Zemlja okrugla kugla, a ne ravna ploča. Prvo, uvideo je da pomračenje Meseca izaziva Zemlja koja se nađe između njega i Sunca. Zemljina senka na Mesecu uvek je bila kružna, što je moglo da se dogodi samo ako Zemlja ima oblik lopte. Da je Zemlja bila ravna ploča, senka bi bila izdužena i eliptična, osim ako bi se pomračenje događalo uvek u vreme kada bi se Sunce nalazilo tačno ispod središta ploče. Drugo, stari Grci su sa svojih putovanja znali da se zvezda severnjača pojavljuje niže na nebu posmatrana sa juga nego kada se gleda sa severnih područja. (Budući da se zvezda severnjača nalazi iznad severnog pola, ona bi stajala tačno povrh glave posmatrača koji bi se tu nahodio, ali nekome ko je na polutaru izgledalo bi da počiva na samom obzorju. Na osnovu razlike u prividnom položaju zvezde severnjače u Egiptu i Grčkoj Aristotel je došao do procene da obim Zemlje iznosi 400.000 stadija. Nije tačno poznato koliko je iznosila dužina jednog stadija, ali verovatno se kretala negde oko 200 jardi, što znači da je Aristotel došao do dvostruko veće vrednosti od one za koju mi danas pouzdano znamo. Stari Grci su znali i za treći razlog koji je nalagao da Zemlja mora biti

okrugla: zašto bi se, inače, najpre pojavila jedra iznad morskog obzorja, a tek onda trup broda?

Aristotel je smatrao da je Zemlja nepomična, a da se Sunce, Mesec, planete i zvezde kreću kružnim orbitama oko nje. Verovao je u to zato što je osećao, iz mističnih razloga, da se Zemlja nalazi u središtu Vaseljene, kao i da je kružno kretanje najsavršenije. Ovu zamisao Ptolemej je u drugom stoleću nove ere razradio u jedan celovit kosmološki model. Zemlja je tu počivala u središtu, optočena nizom od osam sfera na kojima su se nalazili Mesec, Sunce, zvezde i pet planeta poznatih u to vreme: Merkur, Venera, Mars, Jupiter i Saturn (Ilus. 1.1). Same planete kretale su se manjim kružnim orbitama spojenim sa odgovarajućim sferama, kako bi se pružilo objašnjenje za njihove prilično složene putanje koje su uočene na nebu. Na krajnjoj spoljnoj sferi nalazile su se takozvane zvezde-nekretnice koje su stalno zadržavale isti međusoban položaj, ali su sve zajedno kružile nebom. Ono što se nalazilo iza te poslednje sfere ostajalo je prilično neodređeno, ali zacemento nije predstavljalo deo vidljive Vaseljene čovečanstva.

Ptolemejev sistem obezbeđivao je prilično pouzdan način predviđanja položaja nebeskih tela. Ali da bi ove položaje tačno predskazao, Ptolemej je morao da pođe od pretpostavke da se Mesec kreće putanjom koja ga povremeno dovodi dvostruko bliže Zemlji nego u drugim prilikama. Odavde je proishodilo da Mesec u određenim trenucima treba da izgleda dvostruko veći nego inače! Ptolemej je bio svestan ovog nedostatka, ali to nije osujetilo rasprostranjeno, premda ne i sveopšte, prihvatanje njegovog modela. Ovaj model prihvatila je hrišćanska crkva kao sliku Vaseljene koja je u skladu sa Svetim Pismom i čija je glavna prednost u tome što je ostavljala obilje prostora iza sfere zvezda-nekretnica za raj i pakao.

Jedan jednostavniji model izložio je, međutim, 1514. godine poljski sveštenik Nikola Kopernik. (U početku, možda iz straha da ga crkva ne proglasi jeretikom, Kopernik je anonimno obznanjivao svoj model.) Prema njegovoj zamisli, u središtu je nepomično počivalo Sunce, a Zemlja i planete kretale su se oko njega kružnim orbitama. Prošlo je skoro puno stoleće pre no što je ova ideja ozbiljno shvaćena. A onda su dvojica astronoma, Nemač Johan Kepler i



Italijan Galileo Galilej, počela da javno podržavaju Kopernikovu teoriju, uprkos činjenici da se orbite koje je ona predviđala nisu sasvim podudarale sa nalazima posmatranja. Smrtni udarac Aristotelovoj i Ptolemejevoj teoriji zadat je 1609. Te godine Galilej je počeo da posmatra noćno nebo upravo pronađenim teleskopom. Usredsredivši se na planetu Jupiter, Galilej je ustanovio da oko nje kruži nekoliko malih satelita ili meseca. Ovo je značilo da ne mora baš sve da kruži oko Zemlje, kao što su to smatrali Aristotel i Ptolemej. (I dalje je, razume se, bilo moguće verovati da Zemlja počiva nepomično u središtu Vaseljene i da se Jupiterovi meseci kreću izuzetno složenim putanjama oko nje, stvarajući, privid da kruže oko Jupitera. Kopernikova teorija bila je, međutim, znatno jednostavnija.) U isto vreme Johan Kepler je preinačio Kopernikovu teoriju, izloživši zamisao da se planete kreću ne kružnim, nego eliptičnim orbitama (elipsa je izduženi krug). Predviđanja su se sada konačno poklopila sa nalazima posmatranja.

Što se Keplera ticalo, eliptične orbite predstavljale su samo ad hoc hipotezu, i to prilično odbojnu, budući da su elipse očigledno bile nesavršenije od krugova. Ustanovivši gotovo slučajno da se eliptične orbite slažu sa nalazima posmatranja, on ih nikako nije mogao usaglasiti sa svojom idejom da magnetne sile nagone planete da kruže oko Sunca. Do objašnjenja se došlo tek znatno kasnije, 1687, kada je Njutn objavio svoju knjigu, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, verovatno najznačajnije pojedinačno delo koje je ikada objavljeno u fizici. U ovoj knjizi Njutn ne samo da je izložio teoriju o tome kako se tela kreću u prostoru i vremenu, nego je i pružio složene matematičke postupke neophodne da se izvrši analiza ovih kretanja. Pored toga, Njutn je tu postavio zakon opšte gravitacije, prema kome svako telo u Vaseljenu privlači svako drugo telo silom koja je tim snažnija što su ta tela masivnija i što su međusobno bliža. Ista ta sila bila je uzrok padanja predmeta na tle. (Priča o tome da je Njutn nadahnula jabuka koja mu je pala na glavu gotovo izvesno je apokrifna. Sve što je sam Njutn ikada kazao o tome bilo je da je na pomisao o sili teže došao dok je sedeo 'zadubljen u razmišljanja o padu jedne jabuke'.) Njutn je potom pokazao da, prema ovom zakonu, gravitacija nagoni Mesec da se kreće eliptičnom orbitom oko Zemlje, a Zemlju i ostale planete da eliptičnim putanjama kruže oko

Sunca.

Kopernikov model odbacio je Ptolemejeve nebeske sfere, a sa njima i zamisao o tome da Vaseljena ima fizičke granice. Budući da zvezde-nekretnice nisu, kako je izgledalo, menjale svoje položaje, izuzev u pogledu kruženja nebeskim svodom izazvanog okretanjem Zemlje oko vlastite ose, postalo je prirodno pretpostaviti da su ove zvezde tela slična našem Suncu, ali znatno udaljenija.

Njutn je shvatio da bi, prema njegovoj teoriji gravitacije, zvezde trebalo da se međusobno privlače, što je značilo da ne mogu u osnovi ostati nepomične. Zar se onda neće sve sunovratiti jedne ka drugima u nekom trenutku? U jednom pismu iz 1609. godine, upućenom Ričardu Bentliju, takođe jednom od vodećih mislilaca tog vremena, Njutn je ustvrdio da bi se to uistinu dogodilo kada bi postojao konačan broj zvezda razmešten u nekom konačnom prostoru. No, ako bi, nastavio je on, postojao beskonačan broj zvezda razmešten manje ili više jednoobrazno u beskonačnom prostoru, do ovoga ne bi došlo, zato što u tom slučaju ne bi bilo nikakve središnje tačke ka kojoj bi se one sunovraćale.

Ovo je dobar primer zamke u koju se može upasti pri razmišljanju o beskonačnom. U beskrajnoj Vaseljeni, svaka tačka se može smatrati središtem, zato što se sa svake njene strane pruža beskrajno mnogo zvezda. Znatno kasnije se uvidelo da je jedino ispravno uzeti u obzir konačnu situaciju, u kojoj sve zvezde padaju jedna prema drugoj, a zatim se zapitati kako bi se stvari promenile ako bi se izvan tog područja dodalo još zvezda prilično ravnomerno razmeštenih. Prema Njutnovom zakonu, ove dodatne zvezde ne bi, u proseku, uopšte delovale na one prvobitne, tako da bi se ove sunovraćale podjednako brzo. Možemo dodavati koliko hoćemo zvezda, ali one bi sve kolabirale jedna u drugu. Sada znamo da je nemoguće imati beskonačni statični model Vaseljene u kome je gravitacija uvek privlačna sila.

Okolnost da niko nije došao na pomisao o tome da se Vaseljena širi ili sažima predstavlja zanimljiv pokazatelj o opštoj misaonoj klimi pre dvadesetog stoleća. Vladalo je uverenje da je Vaseljena ili oduvek postojala u nepromenjenom obliku, ili da je nastala u nekom konačnom vremenu u prošlosti u manje ili više sličnom obliku u kome je mi vidimo danas. Ovo je delimično mogla biti posledica

sklonosti ljudi da veruju u večne istine, odnosno utešnosti pomisli da će, iako će oni ostariti i umreti, Vaseljena ostati nepromenjena.

Čak ni oni koji su shvatili da iz Njutnove teorije gravitacije proishodi da Vaseljena ne mora da bude statična nisu došli na pomisao da se ona možda širi. Umesto toga, pokušali su da preoblikuju teoriju time što su uveli pretpostavku da gravitaciona sila postaje odbojna na veoma velikim udaljenostima. Ovo nije značajnije uticalo na njihova predviđanja kretanja planeta, ali je dopuštalo da ostane u ravnoteži razmeštaj zvezda u beskrajnom prostoru, u smislu da su se privlačne sile među obližnjim zvezdama javljale kao protivteža odbojnim silama dalekih zvezda. Mi, međutim, danas smatramo da bi takva ravnoteža bila nestabilna: ako bi se zvezde u nekom području samo malo međusobno približile, privlačna sila među njima postala bi snažnija i odnela bi prevagu nad odbojnim silama, tako da bi zvezde nastavile da se primiču jedne drugima. Sa druge strane, ukoliko bi se zvezde međusobno malo udaljile, prevagu bi odnele sile odbijanja, što bi dovelo do daljeg razilaženja.

Postoji još jedna zamerka modelu beskrajne statične Vaseljene, koja se obično pripisuje nemačkom filozofu Hajnrihu Olbersu. On je o ovoj teoriji pisao 1823. U stvari, još su neki Njutnovi savremenici ukazali na problem, a Olbersov tekst čak nije bio ni prvi u kome se izlažu uverljivi argumenti protiv nje. No, taj tekst je prvi postao šire poznat. Teškoća se ogledala u tome što bi se u beskrajnoj statičnoj Vaseljini gotovo svaka linija vida okončala na površini neke zvezde. Odavde proishodi da bi celo nebo trebalo da bude podjednako blistavo kao Sunce. Čak i noću. Olbersov protivargumenat glasio je da svetlost sa dalekih zvezda prigušuje apsorpcija materije koja se nalazi u međuzvezdanom prostoru. No, da je to posredi, ova materija bi se jednom zagrejala, postavši i sama podjednako sjajna kao i zvezde. Jedini način da se izbegne zaključak da celo noćno nebo treba po sjajnosti da bude ravno Suncu bio je da se pretpostavi da zvezde nisu večno sijale, već da su se upalile u nekom konačnom vremenu u prošlosti. U tom slučaju ili još nije moralo doći do zagrevanja materije u međuzvezdanom prostoru ili svetlost sa dalekih zvezda još nije morala stići do nas. A ovo nas suočava sa sledećim pitanjem: šta je to što uopšte dovodi do paljenja zvezda?

O problemu početka Vaseljene vodile su se, razume se, rasprave još

znatno ranije. Prema izvesnom broju ranih kosmologa i judejsko-hrišćansko-muslimanskoj tradiciji, Vaseljena je nastala u jednom konačnom i ne naročito dalekom vremenu u prošlosti. Jedan od argumenata u prilog ovakvom početku bilo je uverenje da je neophodno imati 'prvi uzrok' da bi se objasnilo postojanje Vaseljene. (Unutar Vaseljene neki događaj se uvek objašnjavao kao posledica nekog drugog, ranijeg događaja, ali postojanje Vaseljene se moglo rastumačiti na ovaj način samo ako je ona imala nekakav početak.) Drugi argumet izložio je sveti Augustin u svojoj knjizi Božija država. On je istakao da civilizacija napreduje i da mi pamtimo ko je učinio ovo delo ili usavršio onu tehniku. Stoga čovek, a možda i sama Vaseljena, nisu morali da postoje odveć dugo. Sveti Augustin je prihvatio da se, prema 'Knjizi Postanja', stvaranje Vaseljene odigravalo oko 5000. godine pre nove ere. (Zanimljivo je da to nije predaleko od kraja poslednjeg ledenog doba, koje se okončalo oko deset hiljada godina pre nove ere, kada arheolozi smatraju da su uistinu udareni temelji civilizacije.)

Aristotelu i većini ostalih grčkih filozofa, sa druge strane, nije se dopadala zamisao o stvaranju, zato što je ona podrazumevala božanski upliv. Oni su stoga smatrali da su ljudska rasa i svet oko nje postojali i da će postojati večito. Mislioci starog sveta već su razmotrili argument o napredovanju koji je prethodno opisan, uzvrativši tim povodom da su se periodično javljali potopi ili druge nesreće koji su nas svaki put iznova vraćali na početak civilizacije.

O pitanjima da li Vaseljena ima početak u vremenu i da li je ograničena u prostoru kasnije je opsežno raspravljao filozof Imanuel Kant u svom monumentalnom (i veoma opskurnom) delu Kritika čistog uma, objavljenom 1781. On je ova pitanja nazvao antinomije (odnosno, protivurečnosti) čistog razuma, zato što je smatrao da postoje podjednako valjani razlozi za verovanje u tezu da Vaseljena ima početak, kao i antitezu da je ona oduvek postojala. Njegov argumet u korist teze bio je da bi, ukoliko Vaseljena nema početak, pre bilo kog događaja postojalo beskrajno razdoblje, što je on smatrao besmislenim. Argumet u korist antiteze glasio je da bi, ako Vaseljena ima početak, onda pre njega postojalo beskrajno razdoblje, tako da nije jasno zašto bi Vaseljena počela u nekom posebnom trenutku? U stvari, ono što Kant navodi u prilog tezi i

antitezi u osnovi je isti argument. Obe tvrdnje temelje se na prećutoj pretpostavci da se vreme pruža u beskraj unazad, bez obzira na to da li je Vaseljena oduvek postojala. Kao što ćemo videti, međutim, pojam vremena besmislen je pre početka Vaseljene. Na ovo je prvi ukazao sveti Augustin. Na pitanje: 'Šta je Bog radio pre no što je stvorio Vaseljenu?' Augustin nije uzvratio: 'Pripremao je pakao za ljude koji postavljaju takva pitanja.' Umesto toga, kazao je da je vreme svojstvo Vaseljene koju je Bog stvorio, tako da nije postojalo pre njenog početka.

U doba kada je većina ljudi verovala u to da je Vaseljena u suštini statična i nepromenljiva, pitanje da li ona ima ili nema početak pripadalo je, zapravo, metafizici ili teologiji. Zapažene pojave mogle su se podjednako lako objasniti teorijom da je Vaseljena oduvek postojala i teorijom da je stavljena u pokret u nekom konačnom vremenu na takav način da je izgledalo da je večno postojala. Ali 1929. godine Edvin Hابل došao je do temeljnog nalaza da se udaljene galaksije, ma kuda pogledali, brzo udaljuju od nas. Drugim rečima, Vaseljena se širi. Ovo je značilo da su u ranijim vremenima nebeska tela bila međusobno bliža. U stvari, postojao je, kako izgleda, trenutak, pre otprilike deset ili dvadeset hiljada miliona godina, kada su se sva nalazila tačno na istom mestu i kada je, stoga, gustina Vaseljene bila beskrajna. Ovo otkriće konačno je uvelo pitanje početka Vaseljene na području nauke.

Iz Hablovih posmatranja proishodilo je da je postojao trenutak, nazvan Veliki Prask, kada je Vaseljena bila infinitezimalno mala i beskrajno gusta. Pod takvim uslovima otkazali bi svi zakoni nauke, pa, dakle, i sve mogućnosti da se predvidi budućnost. Ako je i bilo nekih zbivanja pre ovog trenutka, ona nisu ni na koji način uticala na ono što se događa u sadašnjem vremenu. Postojanje ovih zbivanja može se prenebreći zato što ona ne bi imala nikakvih posmatračkih posledica. Moglo bi se, dakle, reći da vreme počinje sa Velikim Praskom, u smislu da se ranija vremena naprosto ne mogu definisati. Treba, međutim, istaći da je ovaj početak vremena veoma različit od onih koja su prethodno razmatrana. U nepromenljivoj Vaseljenu početak vremena jeste nešto što mora da uvede neki entitet izvan Vaseljene; ne postoji fizička nužnost tog početka. Moglo bi se zamisliti da je Bog stvorio Vaseljenu u doslovce bilo kom

trenutku prošlosti. Sa druge strane, ako se Vaseljena širi, možda postoje fizički razlozi koji nalažu početak. No, i dalje bi se moglo zamisliti da je Bog stvorio Vaseljenu u trenutku Velikog Praska, ili čak posle toga, na takav način da izgleda kao da je postojao Veliki Prask, ali bi bilo besmisleno pretpostaviti da je ona bila stvorena pre Velikog Praska. Vasiona koja se širi ne isključuje tvorca, ali postavlja granice u pogledu toga kada je on mogao da obavi svoj posao!

Da bi se moglo razgovarati o prirodi Vaseljene i raspravljati o tome da li ona ima početak ili kraj, valja prethodno razjasniti šta je to naučna teorija. Najjednostavnije bi bilo reći da teorija nije ništa drugo do model Vaseljene, ili nekog njenog ograničenog dela, kao i niz pravila koja dovode u vezu svojstva modela sa posmatračkim nalazima do kojih dolazimo. Ona postoji jedino u našim umovima i nema nikakvu drugu stvarnost (ma šta to značilo). Jedna teorija je valjana ukoliko zadovoljava dva zahteva: ona mora tačno da opiše veliku klasu posmatračkih nalaza na osnovu modela koji sadrži samo nekoliko proizvoljnih elemenata i mora da pruži pouzdana predviđanja vezana za ishode budućih posmatranja. Na primer, Aristotelova teorija da je sve sazdan od četiri elementa - zemlje, vazduha, vatre i vode - bila je dovoljno jednostavna da zadovolji prvi uslov, ali nije pružala nikakva pouzdana predviđanja. Nasuprot tome, Njutnova teorija gravitacije temeljila se na još jednostavnijem modelu, u okviru koga su se tela međusobno privlačila silom koja je bila upravo srazmerna jednom njihovom svojstvu koje je nazvano masa, a obrnuto srazmerna kvadratu udaljenosti među njima. No, ona je predviđala kretanje Sunca, Meseca i planeta uz visok stepen pouzdanosti i tačnosti.

Svaka teorija na području fizike uvek je provizorna, u smislu da predstavlja samo hipotezu: ona se, naime, nikada ne može dokazati. Bez obzira na to koliko se puta ishodi opita slažu sa nekom teorijom, ništa vam ne jemči da joj naredni ishodi neće protivurečiti. Sa druge strane, jedna teorija se može opovrći ustanovljenjem samo jednog nalaza koji nije u saglasnosti sa onim što ona predviđa. Kao što je istakao filozof nauke Karl Popper, valjana teorija odlikuje se svojstvom da iz nje proishodi izvestan broj predviđanja koja bi se u načelu

mogla opovrći ili krivotvoriti posmatračkim nalazima. Svaki put kada se pokaže da su ishodi novih opita u skladu sa predviđanjima date teorije, ona ostaje na snazi i naše poverenje u nju se povećava; ali kada se pokaže da su nova posmatranja nesaglasna teoriji, nju valja odbaciti ili preinačiti. Ili bi bar tako trebalo postupiti, premda uvek možete dovesti u sumnju stručnu pozvanost osobe koja je vršila posmatranje.

U praksi se, međutim, najčešće događa da se postavi nova teorija koja je, u stvari, produžetak prethodne. Primera radi, veoma precizna posmatranja planete Merkur ukazala su na malu razliku između njenog stvarnog kretanja i predviđanja koja su proishodila iz Njutnove teorije gravitacije. Ajnštajnova opšta teorija relativnosti predviđala je kretanje koje se sasvim malo razlikovalo od onoga na koje je ukazivala Njutnova teorija. Okolnost da su se Ajnštajnova predviđanja poklopila sa posmatračkim nalazima, dok to nije bio slučaj sa Njutnovim, predstavljala je jednu od ključnih potvrda nove teorije. Mi, međutim, i dalje koristimo Njutnovu teoriju za sve praktične potrebe zato što su razlike između njenih predviđanja i onih što proishode iz opšte relativnosti veoma male u situacijama sa kojima se mi najčešće srećemo. (Njutnova teorija odlikuje se i jednom velikom prednošću: ona je znatno jednostavnija za rad od Ajnštajnovе!)

Krajnji cilj nauke jeste da se dođe do jedne jedinstvene teorije koja bi opisala celu Vaseljenu. Pristup za koji se, međutim, opredeljuje većina naučnika pretpostavlja da se problem razdvoji u dva dela. Prvo, postoje zakoni koji nam govore kako se Vaseljena menja s vremenom. (Ukoliko znamo kako Vaseljena izgleda u bilo kom trenutku, ovi zakoni fizike govore nam kako će ona izgledati bilo kada u budućnosti.) Drugo, postoji pitanje početnog stanja Vaseljene. Neki ljudi smatraju da bi nauka trebalo da bude usredsređena samo na prvi deo: prema njihovom uverenju, pitanje početnog stanja predstavlja stvar metafizike ili religije. Oni tvrde da je Bog, budući svemoguć, mogao da započne Vaseljenu na bilo koji način. Možda je stvarno tako, ali u tom slučaju takođe je mogao da njen potonji razvoj učini potpuno proizvoljnim. No, kako izgleda, on se radije opredelio za to da se Vaseljena razvija na veoma pravilan način saglasan određenim zakonima. Upravo stoga izgleda potpuno

razložno pretpostaviti da takođe postoje zakoni koji upravljaju njenim početnim stanjem.

Pokazuje se da je veoma teško doći do teorije koja bi opisala celu Vaseljenu. Stoga problem razdvajamo na manje odeljke i nastojimo da postavimo niz delimičnih teorija. Svaka od ovih delimičnih teorija opisuje i predviđa izvesnu ograničenu klasu posmatranja, zanemarujući dejstva drugih svojstava ili ih predstavljajući jednostavnim nizovima brojeva. Nije isključeno da je ovaj pristup potpuno pogrešan. Ako sve u Vaseljeni zavisi od svega drugog na neki temeljni način, može se pokazati da je nemoguće doći do potpunog rešenja zasebnim izučavanjem delova problema. No, u svakom slučaju, na ovaj način smo ostvarivali napredak u prošlosti. Klasičan primer ponovo je Njutnova teorija gravitacije, koja nam govori da gravitaciona sila između dva tela zavisi samo od jedne njihove veličine, mase, pri čemu je potpuno svejedno od čega se tela sastoje. Uopšte, naime, nije potrebno imati teoriju o ustrojstvu i sastavu Sunca i planeta da bi se izračunale njihove orbite.

Današnji naučnici opisuju Vaseljenu iz perspektive dve osnovne delimične teorije - opšte teorije relativnosti i kvantne mehanike. One predstavljaju ogromna intelektualna postignuća prve polovine našeg stoleća. Opšta teorija relativnosti opisuje gravitacionu silu i makrokosmičko ustrojstvo Vaseljene - ustrojstvo, naime, u rasponu od svega nekoliko milja do milion miliona miliona milja (jedinica iza koje se pruža niz od dvadeset četiri nule), koliko iznosi veličina Vaseljene dostupne posmatranjima. Kvantna mehanika, sa druge strane, usredsređena je na pojave izuzetno malih razmera, oko jednog milionitog milionitog dela inča. Na žalost, poznato je da su ove dve teorije međusobno nesaglasne - one ne mogu obe biti ispravne. Jedno od glavnih pregnuća savremene fizike, kao i središnja tema ove knjige, jeste traganje za novom teorijom koja bi obuhvatila obe ove delimične teorije. Posredi je takozvana kvantna teorija gravitacije. Mi još ne raspolažemo takvom teorijom i sva je prilika da je još daleko dan kada ćemo je konačno imati, ali zato su nam već poznata mnoga svojstva koja ona mora da poseduje. U narednim poglavljima videćemo da smo već u priličnoj meri upućeni u predviđanja koja moraju da proishode iz kvantne teorije gravitacije. Ukoliko ste, dakle, uvereni da Vaseljena nije proizvoljna, već da



njome upravljaju određeni zakoni, na kraju čete morati da spojite delimične teorije u jednu celovitu objedinjenu teoriju koja će opisivati sve u Vaseljeni. Postoji, međutim, jedan temeljni paradoks u traganju za ovakvom celovitom objedinjenom teorijom. Prethodno izložene zamisli o naučnim teorijama zasnivaju se na pretpostavci da smo mi razumna bića slobodna da prema želji posmatraju Vaseljenu i da izvlače logične zaključke iz onoga što vide. U takvoj situaciji razložno je pretpostaviti da se još više možemo približiti zakonima koji vladaju Vaseljenom. Ukoliko, međutim, uistinu postoji celovita objedinjena teorija, ona bi, takođe, verovatno odredila naša delanja. Drugim rečima, sama teorija odredila bi ishod našeg traganja za njom! Ali zašto bi ona odredila da mi dođemo do ispravnih zaključaka na osnovu nalaza i posmatranja? Zar ona u podjednako meri ne bi mogla da odredi da mi dođemo do pogrešnih zaključaka? Ili da uopšte ne dođemo do zaključaka?

Jedini odgovor koji ja mogu dati na ova pitanja temelji se na Darwinovom načelu prirodnog odabiranja. Zamisao počiva na tome da će se u bilo kojoj populaciji organizama što se sami razmnožavaju javiti varijacije u genetskom materijalu koje će dovesti do nastanka različitih jedinki. Ove razlike pretpostavljaju da su neke jedinke vičnije od drugih da dolaze do ispravnih zaključaka o svetu što ih okružuje, da bi potom delale saglasno tim zaključcima. Te jedinke imaju više izgleda da prežive i ostave potomstvo, tako da će njihov način ponašanja i mišljenja odneti prevagu. Nesumnjivo je da je u prošlosti ono što nazivamo inteligencijom i naučnim otkrićem donosilo preimućstvo u pogledu opstanka. No, nije sasvim izvesno da je to i dalje slučaj: naša naučna otkrića lako nas sve mogu uništiti - pa čak ako do toga i ne dođe, na naše izgleda na opstanak lako može da nema nikakvog uticaja celovita objedinjena teorija. Pod uslovom, međutim, da se Vaseljena razvijala na pravilan način, možemo pretpostaviti da će razumske sposobnosti koje nam je podarilo odabiranje vredeti i u traganju za celovitom objedinjenom teorijom, te da nas tako neće navesti na pogrešne zaključke.

S obzirom na okolnost da su se delimične teorije kojima već raspolažemo pokazale dovoljne za dolaženje do tačnih predviđanja u svim okolnostima osim onih krajnjih, traganje za celovitom objedinjenom teorijom Vaseljene teško da bi se moglo opravdati u

praktičnom pogledu. (Valja, međutim, primetiti da se sličnim argumentima moglo pribeći i u slučaju kako relativnosti, tako i kvantne mehanike, a ove teorije pružile su nam kako nuklearnu energiju, tako i mikroelektronsku revoluciju!) Postavljanje celovite objedinjene teorije moglo bi, dakle, da ne doprinese opstanku naše vrste. Možda čak ne bi ni na koji način uticalo na način života. Ali još od osvita civilizacije ljudi se nisu zadovoljavali time da vide događaje kao nepovezane i neobjašnjive. Umesto toga, upirali su se da proniknu u skriveni poredak sveta. Mi danas i dalje čeznemo da dokučimo zbog čega smo ovde i odakle potičemo. Najdublja želja čovečanstva za znanjem predstavlja dovoljno opravdanje za nastavak naših traganja. A cilj koji imamo pred sobom nije ništa manje do potpuno opisivanje Vaseljene u kojoj živimo.

## 2. PROSTOR I VREME

Naše sadašnje zamisli o kretanju nebeskih tela vode poreklo od Galileja i Njutna. Pre njih ljudi su verovali Aristotelu koji je tvrdio da je prirodno stanje tela mirovanje, odnosno da se ono kreće samo pod dejstvom neke sile ili podsticaja. Odavde je proishodilo da teško telo treba da pada brže od lakog, zato što će biti snažnije privlačeno ka Zemlji.

Iz aristotelovske tradicije takođe je sledilo da se do svih zakona koji upravljaju Vaseljenom može doći isključivo razmišljanjem: provera kroz posmatranja uopšte nije bila potrebna. Niko pre Galileja nije mario za to da neposredno proveriti da li tela različite težine uistinu padaju različitim brzinama. Postoji priča o tome da je Galilej pokazao da Aristotelovo uverenje nije ispravno na taj način što je pustio dva tela nejednake težine sa krivog tornja u Pizi. Epizoda je po svoj prilici izmišljena, ali Galilej je ipak učinio nešto slično: pustio je da se niz jednu glatku kosinu kotrljaju lopte različite težine. Situacija je slična onoj kada tela padaju okomito, ali ovde je lakše vršiti posmatranje budući da su posredi manje brzine. Galilejeva merenja pokazala su da je svako telo povećavalo brzinu istom stopom, bez obzira na svoju težinu. Na primer, ako pustite neku loptu niz kosinu koja se spušta po jedan metar svakih deset pređenih metara, onda će se lopta kretati brzinom od oko jednog metra u sekundi posle prve sekunde, dva metra u sekundi posle druge sekunde, i tako dalje, bez obzira na to koliko je teška. Razume se, olovo će padati brže od pera, ali to je samo stoga što otpor vazduha usporava pero. Ukoliko se puste da padnu dva tela na koja ne dejstvuje mnogo otpor vazduha, kao što su, na primer, dva olovna predmeta različite težine, ona će padati istom brzinom.

Galilejeva merenja iskoristio je Njutn kao osnovu za svoje zakone kretanja. U Galilejevim ogledima, kako se telo kotrlja niz kosinu na njega uvek dejstvuje ista sila (njegova težina), što za posledicu ima njegovo stalno ubrzavanje. Ovo je pokazalo da se stvarno dejstvo neke sile uvek ogleda u promeni brzine tela, a ne u njegovom pokretanju, kako se prethodno smatralo. Odavde je takođe proishodilo da kad na telo ne dejstvuje nikakva sila, ono će nastaviti

da se kreće pravolinijski istom brzinom. Ova zamisao prvi put je eksplicitno izložena u Njutnovom delu Principia Mathematica, objavljenom 1687, i poznata je kao Njutnov prvi zakon. Prema njemu, telo će ubrzavati, ili menjati brzinu, stopom koja je srazmerna sili. (Primeru radi, ukoliko je sila dvostruko jača i ubrzanje je dvostruko veće.) Isto tako, ubrzanje je manje što je veća masa (ili količina materije). (Ista sila koja deluje na telo dvostruko veće mase proizvešće samo polovinu prethodnog ubrzanja.) Kod automobila se najčešće srećemo sa primerom koji ovo ilustruje: što je motor jači, veće je ubrzanje, ali što su kola teža, ubrzanje je srazmerno manje sa istim motorom.

Pored zakona kretanja, Njutn je otkrio i zakon koji opisuje gravitacionu silu, prema kome svako telo privlači svako drugo silom koja je srazmerna masi svakog od njih. Shodno tome, sila koja deluje između dva tela biće dvostruko jača ukoliko se jednom od njih (recimo, telu A) masa udvostruči. Ovo je upravo ono što bi se i očekivalo, budući da bi se novo telo A moglo zamisliti kao da se sastoji od dva tela prvobitne mase. Svako od njih privlačilo bi telo B prvobitnom silom. Prema tome, ukupna sila između tela A i tela B biće dvostruko jača od prvobitne sile. A ako, recimo, jedno od tela stekne dvostruku masu, a drugo trostruku, onda će sila postati šest puta jača. Odavde je sasvim jasno zašto sva tela padaju istom brzinom: telo dvostruko veće težine biće privlačeno dvostruko većom silom gravitacije nadole, zato što mu je masa dvostruka veća. Prema Njutnovom drugom zakonu, ova dva dejstva će se međusobno potpuno potrti, tako da će ubrzanje biti isto u svim slučajevima.

Njutnov zakon gravitacije takođe nam govori da je sila težine tim slabija što su tela međusobno udaljenija. Prema ovom zakonu, gravitaciono privlačenje neke zvezde iznosiće tačno jednu četvrtinu privlačenja neke druge, slične zvezde koja se nalazi na polovini udaljenosti prve. Ovaj zakon veoma tačno predviđa orbite Zemlje, Meseca i planeta. Ukoliko bi zakon nalagao da gravitaciono privlačenje brže opada sa udaljenošću, orbite planeta ne bi bile eliptične, već bi spiralno vodile ka Suncu. Ako bi ovo opadanje bilo sporije, gravitaciono privlačenje dalekih zvezda odnelo bi prevagu nad Zemljinim.

Ključna razlika u zamislima Aristotela s jedne strane i Galileja i

Njutna sa druge očitovale se u tome što je Aristotel verovao u povlašćeno stanje mirovanja, u kome bi se svako telo našlo kada na njega ne bi dejstvovali neka sila ili podsticaj. Štaviše, on je smatrao da se i Zemlja nalazi u stanju mirovanja. Ali iz Njutnovih zakona je proishodilo da ne postoji jedinstveni standard mirovanja. Podjednako bi se moglo reći da se telo A nalazi u mirovanju, dok se telo B kreće stalnom brzinom u odnosu na telo A, kao i da telo B miruje, dok se telo A kreće. Primera radi, ako se za trenutak zanemare okretanja Zemlje oko vlastite ose i njeno kruženje oko Sunca, moglo bi se kazati da se naša planeta nalazi u stanju mirovanja, a da se jedan voz na njoj kreće u smeru severa brzinom od devedeset milja na čas, baš kao što bi se moglo kazati da voz miruje dok se Zemlja kreće na jug istom brzinom. Ukoliko bi se izvršili opiti sa kretanjem tela u vozu, pokazalo bi se da svi Njutnovi zakoni i dalje ostaju na snazi. Na primer, igrači stonog tenisa u vozu ustanovili bi da se loptica u svemu pokorava Njutnovim zakonima baš kao da se sto nalazi pokraj pruge. Prema tome, nema načina da se kaže da li se voz ili Zemlja nalaze u stanju kretanja.

Nepostojanje apsolutnog standarda mirovanja značilo je da nema načina da se odredi da li se dva događaja koja se zbivaju u različitim vremenima odigravaju na istom mestu u prostoru. Primera radi, pretpostavimo da naša ping pong loptica u vozu skakuće gore dole, potpuno uspravno, udarivši pri tom dva puta istu tačku na stolu u razmaku od jedne sekunde. Nekome ko stoji kraj pruge izgledalo bi da su se ova dva odbijanja od stola odigrala na razdaljini od oko 40 metara, zato što bi voz prevalio tu udaljenost u jednoj sekundi. Nepostojanje apsolutnog mirovanja pretpostavljalo je, dakle, da se, protivno Aristotelovom uverenju, ne može odrediti apsolutni položaj u prostoru nekog događaja. Položaji, zbivanja i udaljenosti između njih bili bi različiti za osobu u vozu i osobu koja stoji kraj pruge, a ni po čemu se jedan položaj ne bi mogao pretpostaviti drugome.

Njutna je veoma zabrinjavalo ovo odsustvo apsolutnog položaja, ili apsolutnog prostora, kako je bio nazvan, zato što se nije slagalo sa njegovom idejom o apsolutnom Bogu. U stvari, on je odbio da prihvati nepostojanje apsolutnog prostora, iako je ono proishodilo iz njegovih zakona. Mnogi su ga kritikovali zbog ovog iracionalnog uverenja, a najglasniji je bio biskup Berkeli, filozof koji je smatrao da

su svi materijalni predmeti, kao i prostor i vreme, samo opsena i privid. Kada je znameniti dr Džonson doznao za Berkelijevo mišljenje, uzviknuo je: "Evo kako ga pobijam!" i udario nogom o jedan veliki kamen.

I Aristotel i Njutn verovali su u apsolutno vreme. Smatrali su, naime, da je bespogovorno moguće izmeriti interval između dva događaja, odnosno da bi ovo vreme bilo isto bez obzira na to ko ga meri, pod uslovom da se koristi dobar časovnik. Vreme je bilo potpuno zasebno i nezavisno od prostora. Za većinu ljudi ovo bi bilo zdravorazumsko stanovište. Pa ipak, mi smo morali da promenimo naša viđenja prostora i vremena. Iako su, kako izgleda, naše zdravorazumske predstave sasvim na mestu sa stvarima kao što su jabuke ili planete koje se kreću srazmerno lagano, one potpuno gube valjanost kada su posredi stvari koje se kreću brzinom svetlosti ili sasvim blizu nje.

Činjenicu da se svetlost kreće konačnom, premda veoma velikom brzinom prvi je otkrio 1676. godine danski astronom Ole Kristensen Remer. On je uočio da vremena zalaska Jupiterovih meseca iza velike planete nisu pravilna, protivno očekivanjima zasnovanim na okolnosti da meseci kruže oko Jupitera postojanom brzinom. Kako Zemlja i Jupiter kruže oko Sunca, javlja se promena udaljenosti među njima. Remer je uočio da do pomračenja Jupiterovih meseca dolazi kasnije što smo mi udaljeniji od Jupitera. On je izložio pretpostavku da je razlog ovome to što je svetlosti potrebno duže da stigne do nas kada smo udaljeniji. Njegova merenja varijacija udaljenosti Zemlje od Jupitera nisu, međutim, bila odveć precizna, tako da je proračunao da brzina svetlosti iznosi 140.000 milja u sekundi, dok mi danas znamo da ona, u stvari, dostiže 186.000 milja u sekundi. Pa ipak, Remerov podvig, koji se ogledao ne samo u tome što je dokazao da se svetlost kreće konačnom brzinom, nego i u tome što je izmerio tu brzinu, bio je izuzetan, budući da je do njega došlo jedanaest godina pre no što je Njutn objavio svoje delo Principia Mathematica.

Valjana teorija o prostiranju svetlosti postavljena je tek 1865, kada je britanski fizičar Džejms Maksvel uspeo da objedini delimične teorije koje su do tada korišćene da bi se opisale sile elektriciteta i magnetizma. Maksvelove jednačine predviđale su da se u

kombinovanom elektromagnetnom polju mogu javiti talasni poremećaji, kao i da bi se oni prostirali nepromenljivom brzinom, slično talasima na površini mirne vode. Ukoliko dužina tih talasa (razdaljina između dva susedna brega) iznosi metar ili više, onda je tu posredi ono što mi danas nazivamo radio-talasima. Manje talasne dužine poznate su kao mikrotalasi (nekoliko centimetara) i infracrveni talasi (nekoliko desetihiljaditih delova centimetra). Talasna dužina vidljive svetlosti iznosi između četrdeset i osamdeset milionitih delova centimetra. Još manje talasne dužine poznate su kao ultraljubičasta svetlost, rendgenski zraci i gama-zraci.

Maksvelova teorija predviđala je da radio-talasi ili svetlosni talasi treba da se kreću nepromenljivom brzinom. Ali Njutnova teorija odbacila je ideju o apsolutnom mirovanju, tako da, ako je svetlost trebalo da se kreće nepromenljivom brzinom, onda je valjalo ustanoviti u odnosu na šta treba meriti tu nepromenljivu brzinu. Stoga je izložena pretpostavka o postojanju jedne supstance nazvane 'eter' za koju se smatralo da se prostire svuda, čak i u 'praznom' prostoru. Svetlosni talasi trebalo je da se kreću kroz eter isto kao što zvučni talasi putuju kroz vazduh, te bi se tako njihova brzina određivala u odnosu na eter. Različiti posmatrači, koji se kreću u odnosu na eter, videli bi kako svetlost ide ka njima različitim brzinama, ali bi zato brzina svetlosti u odnosu na eter ostala nepromenljiva. U konkretnom slučaju, kako se Zemlja kreće kroz eter na svom kruženju oko Sunca, brzina svetlosti merena u smeru Zemljinog kretanja kroz eter (dakle, prilikom približavanja izvoru svetlosti) trebalo bi da bude veća od brzine svetlosti merene pod pravim uglom u odnosu na to kretanje (dakle, kada se ne približavamo izvoru). Godine 1887, Albert Majklson (koji je kasnije postao prvi Amerikanac koji je dobio Nobelovu nagradu za fiziku) i Edvard Morli izveli su veoma precizan ogled u Kejzovoj školi primenjene nauke u Klivlendu. Oni su uporedili brzinu svetlosti u smeru Zemljinog kretanja sa brzinom svetlosti koja dolazi pod pravim uglom u odnosu na Zemljino kretanje. Na svoje veliko iznenađenje, ustanovili su da su ove dve brzine u dlaku iste.

Između 1887. i 1905. preduzeto je više pokušaja, među kojima je najpoznatiji bio onaj holandskog fizičara Henrika Lorenca, da se objasni ishod Majklson-Morlijevog ogleda iz perspektive

pretpostavke da se predmeti sažimaju, a časovnici usporavaju prilikom kretanja kroz eter. Međutim, u znamenitom tekstu iz 1905. jedan do tada nepoznati činovnik Švajcarskog patentnog zavoda, Albert Ajnštajn, istakao je da je cela zamisao o eteru nepotrebna, pod uslovom da se odustane od ideje o apsolutnom vremenu. Do sličnog zaključka došao je nekoliko nedelja kasnije vodeći francuski matematičar Anri Poankare, koji je ovom problemu pristupio iz matematičkog ugla. Danas se Ajnštajnu pripisuje u zaslugu nova teorija, ali značajan obol njenom postavljanju dao je i Poankare.

Temeljni postulat teorije relativnosti, kako je ona nazvana, bio je da bi zakoni prirode trebalo da budu isti za sve posmatrače koji se slobodno kreću, bez obzira na njihovu brzinu. Ovo je važno za Njutnove zakone kretanja, ali sada su ovom idejom obuhvaćene još Maksvelova teorija i brzina svetlosti: svi posmatrači trebalo bi da mere istu brzinu svetlosti, bez obzira na to kojom se brzinom kreću. Ova jednostavna zamisao imala je izuzetne posledice. Možda je najpoznatija među njima istovetnost mase i energije - veličina obuhvaćenih Ajnštajnovom znamenitom jednačinom,  $E = mc^2$  (gde je E energija, m masa, a c brzina svetlosti). S obzirom na jednakost energije i mase, energija koju neko telo dobija kretanjem dovešće do povećanja njegove mase. Drugim rečima, to će otežati povećanje brzine. Ovo dejstvo dolazi do izražaja tek kod objekata koji se kreću brzinom sasvim bliskom svetlosnoj. Na primer, pri brzini koja dostiže deset odsto svetlosne, masa nekog objekta samo je 0,5 odsto veća od normalne, dok je pri devedeset odsto brzine svetlosti masa tela više nego dvostruko veća od normalne. Kako se neki objekat približava brzini svetlosti, masa mu se još brže povećava, tako da je potrebno sve više energije da bi on dalje ubrzavao. Telo, zapravo, uopšte ne može da dostigne brzinu svetlosti, budući da bi mu u tom trenutku masa postala beskrajna, a shodno jednakosti mase i energije za to bi bila potrebna beskrajna količina energije. Upravo je ovo razlog što je svaki normalan objekat zauvek ograničen relativnošću na kretanja brzinama nižim od svetlosne. Jedino svetlost i ostali talasi koji nemaju stvarnu masu mogu da se kreću brzinom svetlosti.

Podjednako značajna posledica relativnosti bio je način na koji je ona revolucionisala naše zamisli o prostoru i vremenu. U Njutnovo



teoriji, ukoliko je jedan impuls svetlosti upućen sa jednog mesta na drugo, različiti posmatrači složili bi se o trajanju njegovog kretanja (budući da je vreme apsolutno), ali se ne bi uvek saglasili oko toga koliki je put prešao (budući da prostor nije apsolutan). S obzirom na to da je brzina svetlosti naprosto razdaljina koju je impuls prevalio podeljena sa utrošenim vremenom, različiti posmatrači bi merili različite brzine svetlosti. U relativnosti, naprotiv, svi posmatrači, moraju se složiti oko toga kojom se brzinom svetlost kreće. Oni, međutim, još ne postižu saglasnost oko toga koju je razdaljinu svetlost prevalila, tako da i dalje moraju meriti različito utrošeno vreme. (Ovo utrošeno vreme nije ništa drugo do brzina svetlosti o kojoj se svi posmatrači slažu pomnožena sa razdaljinom koju je svetlost prevalila, o kojoj ne postoji saglasnost.) Drugim rečima, teorija relativnosti označila je kraj ideje o apsolutnom vremenu! Kako izgleda, svaki posmatrač mora da ima vlastitu meru vremena, određenu časovnikom koji ima uza se, odnosno istovetni časovnici koje imaju različiti posmatrači ne moraju nužno da budu u saglasnosti.

Svaki posmatrač može da upotrebi radar da bi odredio gde se i kada zbije neki događaj, na taj način što bi uputio impuls svetlosti ili radio-talase. Jedan deo talasa koji dat događaj odražava natrag i posmatrač meri vreme za koje se vratio ovaj odjek. Vreme događaja se potom ustanovljava kao polovina vremena proteklog između upućivanja impulsa i primanja odjeka, dok je mesto događaja polovina vremena utrošenog na dvosmerno putovanje pomnožena sa brzinom svetlosti. (Događaj u ovom smislu jeste nešto što se zbiva u jednoj određenoj tački prostora i u nekom određenom vremenu.) Ova ideja prikazana je na ilustraciji 2.1. koja predstavlja primer prostorvremenskog dijagrama. Primenjujući ovaj postupak, posmatrači koji se kreću jedan u odnosu na drugoga pripisaće različita vremena i položaje istom događaju. Merenje nekog određenog posmatrača nije tačnije od merenja bilo kog drugog, ali sva su merenja povezana. Svaki posmatrač može precizno da ustanovi koje će vreme i položaj pripisati događaju bilo koji drugi posmatrač, pod uslovom da zna njegovu relativnu brzinu.

Danas koristimo upravo ovaj metod za precizno merenje razdaljina, budući da smo u stanju da vreme merimo tačnije nego dužine. U

stvari, metar se definiše kao razdaljina koju svetlost prevali za 0,000000003335640952 sekunde, mereno cezijumskim časovnikom. (Razlog za ovaj poseban broj jeste to što on odgovara istorijskoj definiciji metra određenoj dvema oznakama na jednoj naročitoj šipki od platine koja se čuva u Parizu.) Isto tako, možemo da koristimo jednu pogodniju, novu jedinicu dužine koja se naziva svetlosna sekunda. Ona se jednostavno definiše kao razdaljina koju svetlost prevali u jednoj sekundi. U teoriji relativnosti mi sada određujemo razdaljinu jedinicama vremena i brzinom svetlosti, odakle automatski sledi da će svaki posmatrač ustanoviti da svetlost ima istu brzinu (prema definiciji, 1 metar puta 0,000000003335640952 sekunde). Nema nikakve potrebe za uvođenjem ideje o eteru, čije se postojanje u svakom slučaju ne može otkriti, kako je to pokazao Majklson-Morlijev ogled. Teorija relativnosti, međutim, primorava nas da iz temelja izmenimo naše ideje o prostoru i vremenu. Moramo prihvatiti činjenicu da vreme nije potpuno odvojeno i nezavisno od prostora, već da je povezano sa njim i da obrazuje jednu celinu koja se naziva prostorvreme.

Okolnost da se položaj jedne tačke u prostoru može opisati trima brojevima, ili koordinatama, predstavlja dobro poznatu stvar. Primera radi, može se reći da je neka tačka u sobi udaljena sedam stopa od jednog zida, tri stope od drugog i da se nalazi pet stopa iznad poda. Isto se tako može odrediti da je neka tačka na datoj geografskoj dužini i geografskoj širini, kao i na datoj nadmorskoj visini. Sasvim se slobodno mogu upotrebiti bilo koje tri pogodne koordinate, premda one imaju samo ograničen raspon važnosti. Teško da bi se položaj Meseca određivao jedinicama milja severno i zapadno od Pikadili Sirkusa i jedinicama stopa nadmorske visine. Umesto toga, odredio bi se preko udaljenosti od Sunca, udaljenosti od ravni orbitiranja planeta i ugla između linije koja povezuje Mesec sa Suncem i linije koja spaja Sunce sa nekom obližnjom zvezdom, kakva je Alfa Kentaura. No, čak ni ove koordinate ne bi bile od velike koristi pri opisivanju položaja Sunca u našoj Galaksiji ili položaja naše Galaksije u lokalnoj grupi galaksija. U stvari, svekolika Vaseljena mogla bi se opisati posredstvom niza odlomaka koji se preklapaju. Kod svakog odlomka može se upotrebiti različiti skup od tri koordinate kojim bi se odredio položaj neke tačke.

Jedan događaj je nešto što se zbiva u jednoj određenoj tački u prostoru i u nekom određenom vremenu. On se, dakle, može odrediti sa četiri broja ili koordinate. Izbor koordinata ponovo je proizvoljan; mogu se primeniti bilo koje tri dobro određene prostorne koordinate i bilo koja vremenska mera. U relativnosti nema, zapravo, razlike između prostornih i vremenskih koordinata, baš kao što nema ni razlike između bilo koje dve prostorne koordinate. Može se odabrati novi skup koordinata u kome, na primer, prva prostorna koordinata predstavlja kombinaciju stare prve i druge prostorne koordinate. Tako, recimo, umesto da merimo položaj neke tačke na Zemlji u miljama severno od Pikadilija i miljama zapadno od Pikadilija, mogu se upotrebiti milje severoistočno od Pikadilija, odnosno milje severozapadno od Pikadilija. Slično tome, u relativnosti, može se primeniti nova vremenska koordinata koja bi bila zbir starog vremena (u sekundama) i udaljenosti (u svetlosnim sekundama) severno od Pikadilija.

Često je od pomoći razmišljati o četiri koordinate nekog događaja kao o odrednicama koje fiksiraju njegov položaj u četvorodimenzionom prostoru nazvanom prostorvreme. Nemoguće je zamisliti četvorodimenzioni prostor. Meni lično čak je teško da predočim sebi i trodimenzioni prostor! Lako je, međutim, crtati dijagrame dvodimenzionih prostora, kakva je, na primer, površina Zemlje. (Površina Zemlje je dvodimenziona zato što položaj neke tačke na njoj može biti određen dvema koordinatama, geografskom širinom i geografskom dužinom.) Ja ću načelno koristiti dijagrame u kojima vreme raste nagore, a jedna od prostornih dimenzija je prikazana vodoravno. Druge dve prostorne dimenzije su prenebregnute ili je, ponekad, jedna od njih označena perspektivom. (Posredi su takozvani prostorvremenski dijagrami, kao što je onaj na ilustraciji 2.1). Na primer, na ilustraciji 2.2 vreme se meri nagore u godinama, a udaljenost duž linije od Sunca do Alfe Kentaura prikazana je vodoravno u miljama. Putanje Sunca i Alfe Kentaura kroz prostorvreme date su kao uspravne linije sa leve i desne strane dijagrama. Zrak svetlosti sa Sunca kreće se dijagonalnom linijom i potrebne su mu oko četiri godine da prevali put od Sunca do Alfe Kentaura.

Kao što smo videli, Maksimalne jednačine predviđaju da brzina

svetlosti treba da bude svuda ista, bez obzira na brzinu izvora, što je i potvrđeno preciznim merenjima. Odavde sledi da ako u nekom datom trenutku bude odaslat jedan impuls svetlosti iz neke date tačke, on će se, kako vreme protiče, širiti u obliku lopte svetlosti čiji su veličina i položaj nezavisni od brzine izvora. Posle jednog milionitog dela sekunde poluprečnik svetlosne lopte iznosiće 300 metara; posle dva milionita dela sekunde on će dostići 600 metara; i tako dalje. Stvar će u svemu nalikovati talasima koji se šire mirnom površinom vode na koju je bačen kamen. Talasi se šire u koncentričnim krugovima koji postaju sve veći s prolaskom vremena. Ako se zamisli trodimenzioni model koji se sastoji od dvodimenzione površine vode i jedne dimenzije vremena, šireći talasi obrazovali bi kupu čiji se vrh nalazi na mestu i u vremenu gde je, odnosno kada je kamen pogodio vodu (Ilus. 2.3). Slično tome, svetlost koja se širi od nekog događaja obrazuje trodimenzionu kupu u četvorodimenzionom prostorvremenu. Ova kupa se naziva svetlosna kupa budućnosti događaja. Na isti način možemo nacrtati i drugu kupu, nazvanu svetlosna kupa prošlosti, koja predstavlja niz događaja sa kojih je jedan impuls svetlosti kadar da stigne do nekog datog događaja (Ilus. 2.4).

Svetlosne kupe prošlosti i budućnosti nekog događaja  $P$  dele prostorvreme u tri područja (Ilus. 2.5). Apsolutna budućnost događaja predstavlja područje unutar svetlosne kupe budućnosti događaja  $P$ . To je niz svih događaja do kojih može doći pod uticajem onoga što se zbilo u  $P$ . Do zbivanja izvan svetlosne kupe događaja  $P$  ne mogu stići signali sa  $P$  zato što ništa nije u stanju da se kreće brže od svetlosti. Na njih, dakle, ne može uticati ono što se zbiva u  $P$ . Apsolutna prošlost događaja  $P$  jeste područje unutar svetlosne kupe prošlosti. To je skup svih događaja sa kojih signali što se kreću brzinom svetlosti ili ispod nje mogu stići do  $P$ . Posredi je, dakle, skup svih događaja koji mogu imati uticaj na ono što se zbiva u  $P$ . Ako neko zna šta se zbiva u nekom određenom trenutku svuda u području koje se nalazi unutar svetlosne kupe prošlosti događaja  $P$ , mogao bi da predvidi šta će se odigrati u  $P$ . Preostalo područje prostorvremena ne pripada ni budućoj ni prošloj svetlostnoj kupi događaja  $P$ . Zbivanja iz tog područja ne mogu uticati na događaj  $P$ , niti on može uticati na njih. Primera radi, ako bi se dogodilo da

Sunce prstane da sija uprvo u ovom času, to ne bi imalo uticaja na zbivanja na Zemlji u istom trenutku, zato što bi se ona nalazila izvan svetlosne kupe događaja gašenja Sunca (Ilus. 2.6). Mi bismo o tome doznali tek kroz nešto više od osam minuta, koliko je potrebno svetlosti da prevali put od Sunca do nas. Tek tog bi se trenutka događaji na Zemlji našli unutar svetlosne kupe budućnosti događaja gašenja Sunca. Slično tome, mi ne znamo šta se u ovom trenutku zbiva dalje u Vaseljeni: svetlost koju vidimo sa dalekih galaksija otisnula se sa njih pre mnogo miliona godina, a u slučaju najudaljenijih objekata koje vidimo svetlost se otisnula na svoj put pre osam hiljada miliona godina. Shodno tome, kada bacimo pogled prema Vaseljeni, mi je vidimo kakva je bila u prošlosti.

Ukoliko se zanemare gravitaciona dejstva, kao što su ih prenebregli Ajnštajn i Poankare 1905, onda imamo posla sa posebnom teorijom relativnosti. Za svaki događaj u prostorvremenu možemo da sazdamo jednu svetlosnu kupu (skup svih mogućih putanja svetlosti koju u prostorvremenu emituje taj događaj), a budući da je brzina svetlosti ista kod svakog događaja i u svim pravcima, sve svetlosne kupe biće istovetne i sve će biti upravljene u istom pravcu. Ova teorija takođe nam govori da se ništa ne može kretati brže od svetlosti. Odavde proishodi da putanja bilo kog objekta kroz prostor i vreme mora biti predstavljena linijom koja leži unutar svetlosne kupe svakog događaja na njoj (Ilus. 2.7).

Posebna teorija relativnosti pokazala se veoma uspešna u objašnjavanju okolnosti da brzina svetlosti izgleda ista svim posmatračima (kako je to pokazao Majklson-Morlijev opit) i u opisivanju onoga što se događa kada se stvari kreću brzinama bliskim brzini svetlosti. Ona je, međutim, bila nesaglasna sa Njutnovom teorijom gravitacije koja je tvrdila da se tela međusobno privlače silom koja zavisi od razdaljine među njima. Ovo je značilo da ako neko pomeri dalje jedno od tela, sila kojom ono dejstvuje na drugo istog trenutka bi se smanjila. Ili, drugim rečima, gravitaciona dejstva trebalo bi da se kreću beskrajnom brzinom, umesto brzinom svetlosti ili ispod nje, kako je to zahtevala posebna teorija relativnosti. Ajnštajn je preduzeo više bezuspešnih pokušaja između 1908. i 1914. da dođe do teorije gravitacije koja bi bila saglasna sa teorijom relativnosti. Konačno, 1915, postavio je teoriju koju mi

danas nazivamo opšta teorija relativnosti.

Ajnštajn je došao na revolucionarnu zamisao da gravitacija nije sila kao druge sile, već posledica činjenice da prostorvreme nije ravno, protivno prethodnom opštem ubeđenju: ono je zakrivljeno, ili 'savijeno', pod uticajem rasporeda mase i energije u njemu. Tela poput Zemlje nisu bila sazdana da se kreću zakrivljenim orbitama pod dejstvom sile teže; umesto toga, ona se kreću gotovo pravom putanjom u zakrivljenom prostoru, a ta trajektorija naziva se geodezijska linija. Geodezijska linija je najkraća (ili najduža) putanja između dve obližnje tačke. Primera radi, površina Zemlje je dvodimenzioni zakrivljeni prostor. Geodezijska linija se u slučaju Zemlje naziva veliki krug i on predstavlja najkraći put između dve tačke (Ilus. 2.8). Budući da je geodezijska linija najkraća putanja između dva aerodroma, upravo je to put na koji će navigator uputiti pilota. U opštoj relativnosti, tela se uvek kreću pravolinijski u četvorodimenzionom prostorvremenu, ali nam svejedno izgleda da idu zakrivljenim putanjama u našem trodimenzionom prostoru. (Ovo nalikuje na posmatranje aviona koji preleće preko brdovitog predela. Iako on leti pravolinijski u trodimenzionom prostoru, njegova senka klizi zakrivljenom putanjom po dvodimenzionom tlu.)

Masa Sunca zakrivljuje prostorvreme na takav način da, iako se Zemlja kreće pravolinijski u četvorodimenzionom prostorvremenu, nama izgleda da ona putuje kružnom orbitom u trodimenzionom prostoru. U stvari, orbite planeta koje predviđa opšta relativnost gotovo su potpuno istovetne sa onima na koje ukazuje Njutnova teorija gravitacije. Međutim, u slučaju Merkura, koji je, budući planeta najbliža Suncu, izložen najsnažnijem gravitacionom dejstvu, te stoga ima prilično iduženu orbitu, opšta relativnost predviđa da bi velika poluosa elipse trebalo da se okreće oko Sunca brzinom od oko jedan stepen u deset hiljada godina. Iako je ovo sasvim mala vrednost, ona je bila uočena još pre 1915. i poslužila je kao jedna od prvih potvrda Ajnštajnovе teorije. Poslednjih godina radarom su izmerena još manja odstupanja orbita drugih planeta od predviđanja proisteklih iz Njutnovog zakona; za ova odstupanja ustanovljeno je da su saglasna sa predviđanjima opšte relativnosti.

I svetlosni zraci se moraju držati geodezijske linije u prostorvremenu. Okolnost da je prostor zakrivljen i ovde znači da svetlost ostavlja

utisak kao da se ne kreće pravolinijski u prostoru. Opšta relativnost usitinu predviđa zakrivljavanje svetlosti pod dejstvom gravitacionog polja. Primera radi, teorija predviđa da će svetlosne kupe tačaka u blizini Sunca biti malo nagnute unutra usled mase naše zvezde. Ovo znači da će svetlost sa neke daleke zvezde koja prođe pokraj Sunca biti skrenuta za jedan mali ugao, što će za posledicu imati da nekom posmatraču na Zemlji izgleda da se ta zvezda nalazi na drugom mestu (Ilus. 2.9). Razume se, ako bi svetlost sa date zvezde uvek prolazila pokraj Sunca, onda ne bismo bili u stanju da kažemo da li je došlo do skretanja svetlosti ili se zvezda uistinu nalazi tamo gde je mi vidimo. Kako, međutim, Zemlja kruži oko Sunca, različite zvezde izgleda kao da zalaze iza njega, pri čemu dolazi do skretanja njihove svetlosti. One tako menjaju svoj relativan položaj u odnosu na druge zvezde.

Normalno je veoma teško uočiti ovaj efekat, zato što svetlost sa Sunca onemogućuje posmatranje zvezda koje se pojavljuju blizu njega na nebu. To je, međutim, ipak moguće učiniti za vreme pomračenja Sunca, kada Mesec zaprečava svetlost sa naše zvezde. Ajnštajnovu predviđanje skretanja svetlosti nije se moglo odmah proveriti 1915, budući da je u jeku bio prvi svetski rat, tako da je tek 1919. jedna britanska ekspedicija, koja je pratila pomračenje iz Zapadne Afrike, pokazala da svetlost uistinu biva skrenuta pod dejstvom Sunca, baš kao što je teorija to predviđala. Ovaj dokaz jedne nemačke teorije koji su ostvarili britanski naučnici bio je pozdravljen kao čin pomirenja dve zemlje posle rata. Ima stoga ironije u okolnosti da su potonja ispitivanja fotografija snimljenih pri toj ekspediciji pokazala da su postojale greške velike kao i efekti koje je valjalo izmeriti. Zabeleženi nalazi predstavljali su puku sreću ili slučaj dobijanja željenih ishoda, što nipošto nije bilo retko u istoriji nauke. Skretanje svetlosti bilo je, međutim, pouzdano i precizno potvrđeno većim brojem kasnijih posmatranja.

Iz opšte relativnosti takođe je proishodilo da vreme treba da teče sporije u blizini nekog masivnog tela kakva je Zemlja. To je stoga što postoji odnos između energije svetlosti i njene učestalosti (odnosno, broja talasa svetlosti u sekundi): što je veća energija, viša je učestalost. Kako se svetlost kreće nagore kroz Zemljino gravitaciono polje, ona gubi energiju, pa joj se tako i učestalost smanjuje. (Drugim

rečima, povećava se dužina intervala između dva susedna brega talasa.) Nekome ko se nalazi na velikoj visini izgledalo bi da se sve dole zbiva nekako usporenije. Ovo predviđanje provereno je 1962. pomoću dva veoma precizna časovnika koja su postavljena na vrh i dno jednog vodotornja. Ustanovljeno je da je časovnik na dnu, koji je bio bliži tlu, išao sporije, sasvim u skladu sa opštom relativnošću. Razlika u brzini časovnika na raznim visinama iznad Zemlje danas ima i veliki praktični značaj, s obzirom na razvoj izuzetno preciznih navigacionih sistema koji se temelje na signalima sa satelita. Ukoliko bi se prenebregla predviđanja koja proishode iz opšte relativnosti, izračunati položaj neke tačke mogao bi da bude pogrešan za više milja!

Njutnovi zakoni kretanja označili su kraj zamisli o apsolutnom položaju u prostoru. Teorija relativnosti odbacila je i apsolutno vreme. Razmotrimo slučaj dva blizanca. Zamislimo da jedan od njih ode da živi na vrhu neke planine, dok drugi reši da ostane na nivou mora. Ako bi se ponovo sreli, jedan bi bio stariji od drugoga. U ovom slučaju razlika u starosti bila bi veoma mala, ali bi se znatno povećala ako bi jedan od blizanaca otišao na dugo putovanje kosmičkim brodom koji bi se kretao brzinom sasvim bliskom svetlosnoj. Kada bi se vratio, bio bi znatno mlađi od brata koji je ostao na Zemlji. Ova situacija poznata je kao paradoks blizanaca, ali ona je paradoksalna samo ako se negde u zaumlju krije predrasuda o apsolutnom vremenu. U teoriji relativnosti ne postoji jedinstveno apsolutno vreme, već svaka jedinka ima svoje lično merenje vremena koje zavisi od toga gde se nalazi i kako se kreće.

Pre 1915, za prostor i vreme se smatralo da predstavljaju nepromenljive arene u kojima se zbivaju događaji, ali i na koje ne utiče ono što se u njima odigrava. Ovo je važno čak i u slučaju posebne teorije relativnosti. Tela su se kretala, sile su privlačile i odbijale, ali vreme i prostor naprosto su nastavljali da postoje, ne trpeći nikakav uticaj. Bilo je stoga prirodno zaključiti da su prostor i vreme beskonačni.

Situacija je, međutim, sasvim različita iz perspektive opšte teorije relativnosti. Prostor i vreme sada su dinamička svojstva: kada se neko telo kreće ili neka sila dejstvuje, to utiče na zakrivljenost prostora i vremena baš kao što, sa svoje strane, ustrojstvo



prostorvremena utiče na način na koji se tela kreću i sile dejstvuju. Prostor i vreme ne samo što vrše uticaj na sve što se zbiva u Vaseljenu, nego i trpe uticaj svega što se odigrava u njoj. Baš kao što se ne može govoriti o događajima u Vaseljenu bez pojmova prostora i vremena, isto je tako u opštoj relativnosti besmisleno govoriti o prostoru i vremenu izvan granica Vaseljene.

U potonjim decenijama, ovo novo shvatanje prostora i vremena revolucionisalo je naše viđenje Vaseljene. Stara zamisao o suštinski nepromenljivoj Vaseljenu koja je mogla da postoji i da nastavi da postoji unedogled zamenjena je predstavom o dinamičnoj, širećoj Vaseljenu koja je, kako izgleda, počela pre nekog konačnog vremena i koja se može okončati posle nekog konačnog vremena u budućnosti. Ova revolucija predmet je narednog poglavlja. A godinama kasnije ona će takođe predstavljati polazište mog rada u teorijskoj fizici. Rodžer Penrouz i ja pokazali smo da iz Ajnštajnovе opšte teorije relativnosti proishodi da Vaseljena mora imati početak i, možda, kraj.

### 3. VASELJENA KOJA SE ŠIRI

Ukoliko se baci pogled prema nebu za neke vedre noći bez mesečine, sva je prilika da će najsajnija tela na njemu biti planete Venera, Mars, Jupiter i Saturn. Videće se takođe veoma veliki broj zvezda, koje su prilično slične našem Suncu, ali su na znatno većoj udaljenosti od nas. Neke od ovih nepomičnih zvezda, međutim, kao da ipak sasvim malo menjaju međusobni položaj kako Zemlja kruži oko Sunca: one, zapravo, uopšte nisu nepomične! Do ovoga dolazi stoga što su nam one srazmerno blizu. Prilikom kruženja Zemlje oko Sunca mi ih vidimo iz različitih položaja spram zaleđa udaljenijih zvezda. Ovo je srećna okolnost, zato što nam omogućuje da neposredno izmerimo razdaljinu koja nas razdvaja od tih zvezda: što su, naime, one bliže, to više izgleda da se pomeraju. Najbliža zvezda, čiji je naziv Proksima Kentaura, nalazi se, kako je ustanovljeno, na udaljenosti od oko četiri svetlosne godine (svetlosti sa nje potrebne su oko četiri godine da stigne do Zemlje), odnosno od oko dvadeset tri miliona miliona milja. Većina ostalih zvezda koje su vidljive golim okom nalazi se na razdaljini od nekoliko stotina svetlosnih godina od nas. Poređenja radi, od našeg Sunca razdvaja nas pukih osam svetlosnih minuta! Vidljive zvezde izgledaju razmeštene po celom noćnom nebu, ali su posebno usredsređene u jednom pojasu koji nazivamo Mlečni Put. Još 1750. godine neki astronomi su izložili zamisao o tome da bi se izgled Mlečnog Puta mogao objasniti ukoliko bi se većina vidljivih zvezda nalazila u konfiguraciji diskolikog oblika, čiji je jedan vid spiralna galaksija. Samo nekoliko decenija kasnije, astronom ser Vilijem Heršel potvrdio je ispravnost ove ideje mukotrпно katalogizujući položaje i udaljenosti velikog broja zvezda. No, bez obzira na to, pretpostavka je bila potpuno prihvaćena tek početkom ovog stoleća.

Naše moderne predstave o Vaseljenu potiču tek iz 1924, kada je američki astronom Edvin Habl pokazao da naša Galaksija nije jedina. Postoje, zapravo, još mnoge druge, a između njih se pružaju ogromni potezi praznog prostora. Da bi ovo dokazao, on je morao da odredi udaljenost ovih drugih galaksija, koje su toliko daleko da odista, za razliku od obližnjih zvezda, izgleda da su nepomične. Habl

je zbog toga bio prinuđen da se koristi posrednim metodima merenja razdaljina. Prividni sjaj jedne zvezde zavisi od dva činioca: od količine svetlosti koju ona zrači (sjajnost) i od udaljenosti od nas. U slučaju obližnjih zvezda, u prilici smo da izmerimo njihov prividni sjaj i njihovu udaljenost, te tako možemo da ustanovimo kolika im je sjajnost. U tom slučaju, kada bismo znali sjajnost zvezda u drugim galaksijama, mogli bismo da im izračunamo udaljenost na taj način što bismo im izmerili prividni sjaj. Habl je uočio da izvesni tipovi zvezda uvek imaju istu sjajnost kada se nalaze dovoljno blizu da to možemo izmeriti; stoga, zaključio je on, ukoliko bismo pronašli takve zvezde u nekoj drugoj galaksiji, mogli bismo pretpostaviti da imaju istu sjajnost, što bi nam omogućilo da izračunamo udaljenost do te galaksije. Ako bi nam to pošlo za rukom u slučaju više zvezda u istoj galaksiji i ukoliko bi naši proračuni ukazivali uvek na istu udaljenost, onda bismo se sasvim mogli pouzdati u dobijene nalaze.

Na ovaj način Edvin Habl je ustanovio udaljenosti devet galaksija. Mi danas znamo da je naša Galaksija samo jedna od nekih stotinu hiljada miliona koje se mogu videti pomoću modernih teleskopa, pri čemu svaka od njih sadrži po približno stotinu hiljada miliona zvezda. Ilustracija 3.1 pokazuje jednu spiralnu galaksiju koja izgleda upravo onako kako bi nekom iz neke druge galaksije morao, prema našem uverenju, izgledati naš Mlečni Put. Mi živimo u Galaksiji čiji prečnik iznosi oko stotinu hiljada svetlosnih godina i koja se lagano okreće; zvezde u njenim spiralnim kracima naprave pun krug oko njenog središta jednom u svakih nekoliko stotina miliona godina. Naše Sunce je samo obična, žuta zvezda, prosečne veličine, koja se nalazi blizu unutrašnje ivice jednog od spiralnih krakova. Nema nikakve sumnje u to da smo prevalili dug put od vremena Aristotela i Ptolemeja, kada smo smatrali da je Zemlja središte Vaseljene!

Zvezde se nalaze na toliko velikoj udaljenosti da nam izgledaju samo kao tačkice svetlosti. Nismo u stanju da razaberemo njihovu veličinu ili njihov oblik. Kako onda možemo da razlikujemo pojedine tipove zvezda? U slučaju ogromne većine zvezda postoji samo jedno osobeno svojstvo koje možemo da uočimo - boja njihove svetlosti. Njutn je ustanovio da ako svetlost sa Sunca prođe kroz komad stakla trougaonog oblika, nazvan prizma, ona će se razložiti na sastavne boje (njen spektar) kao kod duge. Ako usredsredimo teleskop na

neku pojedinačnu zvezdu ili galaksiju, na sličan način bismo dobili spektar njene svetlosti. Različite zvezde imaju različite spektre, ali relativni sjaj različitih boja uvek je sasvim onakav kakav bi se očekivao kod svetlosti što je emituje neko telo u stanju crvenog usijanja. (U stvari, svetlost koju emituje neko neprozirno telo u stanju crvenog usijanja ima osoben spektar koji zavisi samo od njegove temperature - takozvani termički spektar. Ovo znači da možemo da ustanovimo temperaturu zvezde na osnovu spektra njene svetlosti.) Štaviše, ustanovljava se da izvesne sasvim specifične boje nedostaju iz spektra zvezda, a te nedostajuće boje mogu varirati od zvezde do zvezde. Budući da znamo da svaki hemijski element apsorbira osoben niz veoma specifičnih boja, poređenjem ovih sa onima koje nedostaju iz spektra neke zvezde možemo tačno da odredimo koji su elementi prisutni u njenoj atmosferi.

Tokom dvadesetih godina ovog stoleća, kada su astronomi počeli da ispituju spektre zvezda u drugim galaksijama, ustanovili su nešto krajnje neobično: javljali su se isti osobeni nizovi nedostajućih boja kao u našoj Galaksiji, ali oni su svi bili pomereni u istom relativnom iznosu prema crvenom kraju spektra. Da bismo razumeli šta je ovo značilo, moramo prvo objasniti Doplerov efekat. Kao što smo videli, vidljiva svetlost sastoji se od fluktuacija, ili talasa, u elektromagnetnom polju. Učestalost (ili broj talasa u sekundi) svetlosti izuzetno je visoka, dostižući između četiri i sedam stotina miliona miliona talasa u sekundi. Različite učestalosti svetlosti izgledaju našem oku kao različite boje, pri čemu se najniže učestalosti javljaju na crvenom kraju spektra, dok se najviše javljaju na plavom kraju spektra. Zamislite sada neki izvor svetlosti na stalnoj udaljenosti od nas, kao što je neka zvezda, koji emituje talase svetlosti stalne učestalosti. Jasno je da će učestalost talasa koje primamo odgovarati učestalosti kojom su oni emitovani (gravitaciono polje Galaksije ne bi bilo dovoljno snažno da ovde ima neki značajniji uticaj). Pretpostavimo sada da izvor svetlosti počne da se kreće ka nama. Kada se sa njega bude otisnuo naredni breg talasa, on će nam biti bliži, tako da će vreme koje je tom bregu talasa potrebno da stigne do nas biti kraće od vremena kada je zvezda bila stacionarna. Ovo znači da bi vreme između dva brega talasa koji stižu do nas bilo kraće, te bi stoga i broj talasa koje primamo svake sekunde

(odnosno, učestalost) bila veća nego onda kada je zvezda mirovala. Slično tome, ukoliko se izvor udaljuje od nas, učestalost primljenih talasa postaće manja. U slučaju svetlosti, dakle, ovo znači da će zvezde koje se udaljuju od nas imati spektralne linije pomerene prema crvenom kraju spektra (crveni pomak), dok će one koje se kreću ka nama imati spektralne linije pomerene ka plavom kraju spektra (plavi pomak). Ovaj odnos između učestalosti i brzine, koji se naziva Doplerov efekat, srećemo i u svakodnevnom životu. Slušajte zvuk kola koja prolaze putem: dok se približavaju, zvuci motora izgledaju viši (što odgovara višoj učestalosti zvučnih talasa), a kad počnu da se udaljuju, onda im je zvuk niži. Svetlost ili radio-talasi ponašaju se na sličan način. Ovu okolnost koristi i saobraćajna policija koja pomoću Doplerovog efekta određuje brzinu automobila na taj način što meri učestalost impulsa radio-talasa odraženih sa njih.

U godinama posle pouzdanog ustanovljenja postojanja drugih galaksija, Hابل se posvetio katalogizovanju njihovih udaljenosti i proučavanju spektara. U to vreme, većina astronoma smatrala je da se galaksije kreću sasvim nasumce, te se zato očekivalo da će se naći približno podjednak broj crvenih i plavih pomaka. Bilo je stoga prilično iznenađujuće kada se ustanovilo da se kod velike većine galaksija javlja crveni pomak: gotovo sve one su se udaljavale od nas! No, još je neobičnije delovao jedan drugi Hابلov nalaz koji je on objavio 1929: čak ni veličina crvenog pomaka neke galaksije nije nasumična, već je upravo srazmerna njenoj udaljenosti od nas. Ili, drugim rečima, što je neka galaksija udaljenija, to se brže udaljava! A ovo je značilo da Vaseljena možda nije statična, kako su svi prethodno smatrali, već da se nalazi u stanju brzog širenja; udaljenosti između različitih galaksija brzo se povećavaju.

Otkriće da se Vaseljena širi predstavljalo je jednu od velikih intelektualnih revolucija dvadesetog stoleća. Kada se danas osvrnemo na celu stvar, uistinu je teško razabrati zašto niko nije ranije pomislio na tu mogućnost. Njutn i ostali naučnici trebalo je da shvate da bi statična Vaseljena ubrzo počela da se sažima pod dejstvom gravitacije. Ali pretpostavimo da se Vaseljena, naprotiv, širi. Ukoliko bi ovo širenje bilo srazmerno sporo, gravitaciona sila dovela bi na kraju do njegovog zaustavljanja i do početka sažimanja. Ako

se, međutim, Vaseljena širi brzinom koja premaša određenu kritičnu vrednost, onda bi ona nastavila da se zauvek širi. Situacija pomalo nalikuje na onu kada se sa površine Zemlje ispali uvis raketa. Ako joj je brzina nedovoljna, gravitacija će je na kraju zaustaviti i ona će početi da se sunovraća natrag ka Zemlji. Sa druge strane, ako je brzina rakete iznad određene kritične vrednosti (oko sedam milja u sekundi) gravitacija ne bi bila dovoljno snažna da je privuče natrag, te bi ona tako nastavila da se zauvek udaljava od Zemlje. Ponašanje Vaseljene moglo se predvideti na osnovu Njutnove teorije gravitacije bilo kada u devetnaestom, osamnaestom, pa čak i sedamnaestom veku. No, tako je snažno bilo verovanje u statičnu Vaseljenu da se zadržalo sve do dvadesetog stoleća. Čak je i Ajnštajn, kada je formulisao opštu teoriju relativnosti 1915, bio u toj meri uveren da Vaseljena mora biti statična da je modifikovao svoju teoriju kako bi ovo omogućio, uvevši u jednačine takozvanu kosmološku konstantu. Ajnštajn je zamislio jednu novu silu, 'antigravitaciju', koja, za razliku od ostalih sila, nije poticala ni iz kakvog posebnog izvora, već je bila utkana u samu tvar prostorvremena. On je tvrdio da prostorvreme ima usađenu težnju ka širenju, koja bi trebalo da se nalazi u tačnoj ravnoteži sa privlačnim dejstvom svekolike materije u Vaseljeni, tako da je kao ishod nastajao statični kosmos. Samo je jedan fizičar, izgleda, bio spreman da doslovno prihvati opštu relativnost; dok su Ajnštajn i ostali naučnici nastojali da pronađu načine da se izbegne predviđanje opšte relativnosti o nestatičnoj Vaseljeni, ruski fizičar i matematičar Aleksandar Fridman latio se posla da ovo objasni.

Fridman je postavio dve sasvim jednostavne pretpostavke o Vaseljeni: da ona, naime, izgleda istovetno ma u kom pravcu pogledali, kao i da ovo ostaje na snazi bez obzira na to odakle vršimo posmatranje. Samo na osnovu ove dve zamisli Fridman je pokazao da ne bi trebalo očekivati da Vaseljena bude statična. U stvari, 1922, nekoliko godina pre otkrića Edvina Habla, Fridman je predvideo upravo ono što će Hابل ustanoviti!

Pretpostavka da Vaseljena izgleda istovetno u svim pravcima nesumnjivo ne odgovara stvarnosti. Primera radi, kao što smo videli, ostale zvezde u našoj Galaksiji obrazuju upadljivu traku svetlosti preko noćnog neba, zvanu Mlečni Put. Ali ako pažnju posvetimo udaljenim galaksijama, izgleda da ih ima manje ili više isti broj.

Pokazuje se, dakle, da Vaseljena ipak izgleda uglavnom isto u svim pravcima, ukoliko se posmatra u razmerama koje odgovaraju razdaljinama između galaksija, odnosno ako se zanemare razlike u manjim razmerama. Ovo je dugo smatrano za dovoljnu potvrdu Fridmanove pretpostavke - kao gruba približnost stvarne Vaseljene. Ali u novije vreme jedno slučajno otkriće pokazalo je da Fridmanova pretpostavka predstavlja, zapravo, veoma tačan opis naše Vaseljene.

Godine 1965, dva američka fizičara iz 'Bell Telephone Laboratories' u Nju Džerziju, Arno Penzijas i Robert Vilson, isprobavali su jedan veoma osetljiv mikrotalasni detektor. (Mikrotalasi su slični svetlosnim talasima, ali im učestalost dostiže samo deset hiljada miliona talasa u sekundi.) Penzijas i Vilson su se zabrinuli kada su ustanovili da im detektor beleži izrazitiji šum nego što je trebalo. Izgledalo je da taj šum ne potiče ni iz jednog posebnog pravca. U prvi mah, pronašli su u detektoru tragove ptičjeg izmeta, što ih je navelo da se daju u potragu za drugim mogućim poteškoćama ove vrste, ali ništa nije otkriveno. Znali su da bi šum koji potiče iz atmosfere bio snažniji kada detektor ne bi bio upravljen pravo nagore, zato što svetlosni zraci putuju kroz znatno deblju atmosferu kada stižu s male razdaljine iznad obzorja nego onda kada prispevaju pravo odozgo. No, pokazalo se da je višak šuma nepromenjen ma u kom pravcu bio okrenut detektor, što je značilo da mora da potiče negde izvan atmosfere. Šum je uz to ostajao isti danju i noću, kao i preko cele godine, bez obzira na to što se Zemlja okretala oko svoje ose i kružila oko Sunca. Ovo je značilo da zračenje mora da dolazi odnekud izvan Sunčevog sistema, pa čak i izvan Galaksije, budući da bi inače variralo kako bi kretanje Zemlje upravljalo detektor u različitim pravcima. Danas znamo da je ovo zračenje na putu do nas moralo da prevali sveskoliku vidljivu Vaseljenu, a kako izgleda da je ono isto u svim pravcima, onda i Vaseljena mora biti ista u svim pravcima, makar i samo u velikim razmerama. Sada nam je poznato da, bez obzira na pravac iz koga potiče, ovaj šum nikada ne varira više od jednog hiljaditog dela, te su tako Penzijas i Vilson i nehotice došli do izuzetno tačne potvrde Fridmanove prve pretpostavke.

Približno u isto vreme, dvojica američkih fizičara sa obližnjeg Prinostonskog univerziteta, Bob Dajk i Džim Pibls, takođe su počeli da

se zanimaju za mikrotalase. Oni su ispitivali pretpostavku Džordža Gamova (nekadašnjeg studenta Aleksandra Fridmana) da je rana Vaseljena trebalo da bude veoma topla i gusta, u stanju belog usijanja. Dajk i Pibls došli su do zaključka da bismo mi i dalje morali da budemo u stanju da vidimo sjaj rane Vaseljene, budući da bi svetlost iz njenih veoma udaljenih delova trebalo da tek sada stiže do nas. Širenje Vaseljene je, međutim, nalagalo da ova svetlost ima tako veliki crveni pomak da bi nam izgledala kao mikrotalasno zračenje. Dajk i Pibls su se upravo spremali da krenu u potragu za ovim zračenjem kada su Penzijas i Vilson čuli za njihov rad i odmah shvatili da u ruci već imaju traženu potvrdu. Penzijas i Vilsonu je za ovo pripala Nobelova nagrada 1978. (što nije bilo odveć pošteno prema Dajku i Piblsu, a da se i ne pominje Gamov).

Na prvi pogled, svi nalazi o tome da Vaseljena izgleda istovetna bez obzira na to u kom pravcu posmatrali kao da ukazuju na to da je naše mesto u njoj posebno. Na osnovu okolnosti da se sve galaksije udaljuju od nas moglo bi nam se učiniti da se mi nalazimo u središtu Vaseljene. Postoji, međutim, i jedno alternativno objašnjenje: Vaseljena bi mogla izgledati ista u svim pravcima i iz svake druge galaksije. Bila je to, kao što smo videli, Fridmanova druga pretpostavka. Nemamo naučnih dokaza ni u prilog ove pretpostavke, ni protiv nje. Smatramo da je ona ispravna samo na osnovu skromnosti: bilo bi to krajnje izuzetno kada bi Vaseljena izgledala ista u svim pravcima samo oko nas, a ne i oko ostalih tačaka u Vaseljeni! U Fridmanovom modelu sve galaksije se međusobno udaljuju. Situacija odgovara balonu sa nacrtanim tačkicama, koji se polako naduvava. Kako se balon širi, razmak između bilo koje dve tačke se povećava, ali ne postoji tačka za koju se može reći da se nalazi u središtu širenja. Štaviše, što su tačkice međusobno razmaknutije, to će se one i brže razmicati. Slično tome, u Fridmanovom modelu, brzina kojom se bilo koje dve galaksije udaljuju jedna od druge upravo je srazmerna udaljenosti između njih. Odavde je proishodilo da će crveni pomak jedne galaksije biti upravo srazmeran njenoj udaljenosti od nas, baš kao što je to Hابل ustanovio. Uprkos uspešnosti Fridmanovog modela, kao i činjenici da je on predviđao nalaze Hablovih posmatranja, radovi ovog fizičara ostali su uglavnom nepoznati na Zapadu sve dok do sličnih modela nisu



1935. godine došli američki fizičari Hauard Robertson i britanski matematičar Artur Voker, koji su preduzeli razrađivanje Hablovog otkrića jednoobraznog širenja Vaseljene.

Iako je Fridman pronašao samo jedan model, postoje, zapravo, tri različite vrste modela koje su u saglasnosti sa njegove dve temeljne pretpostavke. U prvoj vrsti (koju je Fridman pronašao), širenje Vaseljene srazmerno je sporo, tako da će gravitaciono privlačenje između različitih galaksija dovesti do njegovog usporavanja i konačnog zaustavljanja. Galaksije bi tada stale da se kreću jedna ka drugoj, a Vaseljena da se sažima. Ilustracija 3.2 prikazuje kako se udaljenost između dve susedne galaksije menja sa protokom vremena. Ona počinje na nuli, raste do maksimuma, a zatim pada ponovo na nulu. U drugoj vrsti rešenja, širenje Vaseljene je tako brzo da ga gravitaciono privlačenje ne može zaustaviti, premda ga ipak malo usporava. Ilustracija 3.3 prikazuje razdvajanje susednih galaksija u ovom modelu. Ono počinje na nuli, da bi se konačno galaksije međusobno udaljavale nekom postojanom brzinom. Konačno, postoji i treća mogućnost u kojoj je brzina širenja Vaseljene taman tolika da se izbegne kolabiranje. U ovom slučaju, prikazanom na ilustraciji 3.4, razmak između galaksija takođe počinje na nuli, da bi se zauvek povećavao. No, brzina razmicanja galaksija neprekidno se smanjuje, premda nikada ne pada na nulu.

Veoma važna posledica prve vrste Fridmanovog modela jeste da u njemu Vaseljena nije prostorno beskrajna, premda prostor nema granica. Gravitacija je tako snažna da je prostor zakrivljen oko samoga sebe, tako da prilično nalikuje površini Zemlje. Ukoliko se neko kreće u određenom pravcu površinom Zemlje i ako ne naiđe ni na kakvu neprelaznu prepreku niti padne preko ivice, konačno će stići na mesto sa koga je krenuo. U prvom Fridmanovom modelu sa prostorom je upravo ovo slučaj, ali sa tri dimenzije umesto dve koliko ima na površini Zemlje. Četvrta dimenzija, vreme, takođe je konačna, ali ona je poput crte sa dva kraja ili granice, početkom i krajem. Kasnije ćemo videti da kada se dovedu u vezu opšta relativnost i načelo neodređenosti kvantne mehanike, postaje moguće da i prostor i vreme budu konačni bez ikakvih ivica ili granica.

Zamisao da bi se mogla obići cela Vaseljena i vratiti na polazno

mesto od koristi je u naučnoj fantastici, ali njen praktični značaj je mali, budući da se može pokazati da bi pre došlo do kolabiranja Vaseljene nego što bi neko stigao da je obiđe. Morali biste da se krećete brže od svetlosti da biste stigli na mesto odakle ste krenuli pre no što dođe do kraja Vaseljene, a to nije dopušteno!

U prvoj vrsti Fridmanovog modela, u kome se Vaseljena najpre širi, a potom kolabira, prostor je zakrivljen oko samoga sebe poput površine Zemlje. On je tu stoga konačan. U drugoj vrsti modela, u kome se Vaseljena zauvek širi, prostor je zakrivljen na drugi način, slično površini sedla. Ovde je on stoga beskonačan. Najzad, u trećoj vrsti Fridmanovog modela, gde je brzina širenja tik iznad kritične granice, prostor je ravan (pa, dakle, ponovo beskonačan).

Ali koji Fridmanov model odgovara našoj Vaseljini? Da li će Vaseljena jednom prestati da se širi i početi da se sažima, ili će se zauvek širiti? Da bismo odgovorili na ovo pitanje, moramo znati sadašnju brzinu širenja Vaseljene, kao i njenu trenutnu prosečnu gustinu. Ukoliko se gustina nalazi ispod izvesne kritične vrednosti, određene brzinom širenja, gravitaciono privlačenje biće preslabo da zaustavi širenje. Ako je, pak, gustina iznad kritične granice, gravitacija će zaustaviti širenje u nekom trenutku u budućnosti, izazvavši istovremeno početak kolabiranja Vaseljene.

Sadašnju brzinu širenja možemo odrediti merenjem brzina kojima se galaksije udaljuju od nas, pomoću Doplerovog efekta. To je moguće izvesti veoma precizno. Udaljenosti do galaksija nisu, međutim, sasvim dobro poznate, zato što smo u prilici samo posredno da ih merimo. Sve što u ovom trenutku znamo jeste da se Vaseljena širi za vrednost između 5 i 10 odsto svakih hiljadu miliona godina. No, još neizvesnije stoje stvari u pogledu trenutne prosečne gustine Vaseljene. Ako zbrojimo mase svih zvezda koje možemo da vidimo u našoj Galaksiji i u ostalim galaksijama, vrednost koju dobijamo ne dostiže ni jedan stoti deo one koja je neophodna da bi se zaustavilo širenje Vaseljene, čak i u slučaju najniže stope širenja. Naša Galaksija i ostale galaksije zasigurno, međutim, sadrže velike količine 'tamne materije' koju ne možemo neposredno videti, ali za koju znamo da mora postojati zbog uticaja njenog gravitacionog privlačenja na orbite zvezda u galaksijama. Štaviše, većina galaksija javlja se u jatima, tako da se, na sličan način, može pretpostaviti

prisustvo novih količina tamne materije između galaksija u tim jatima po dejstvu koje ona vrši na njihovo kretanje. Kada se uzme u obzir sva ova tamna materija, dobijamo tek jednu desetinu količine neophodne da bi se zaustavilo širenje. Ne možemo, međutim, isključiti mogućnost da postoje i neki drugi oblici materije, razmešteni gotovo jednoobrazno po Vaseljenu, koje još nismo otkrili i koji bi ipak mogli podići prosečnu gustinu Vaseljene do kritične vrednosti neophodne da bi se širenje zaustavilo. Sadašnji nalazi ukazuju na to da će Vaseljena verovatno nastaviti zauvek da se širi, ali sve u šta stvarno možemo biti sigurni jeste da čak i ako dođe do kolabiranja Vaseljene, ono se neće dogoditi bar još narednih deset hiljada miliona godina, budući da se ona već širi najmanje toliko vremena. Ovo, međutim, ne bi trebalo mnogo da nas brine: u to vreme, osim ako ne budemo preduzeli kolonizaciju izvan Sunčevog sistema, čovečanstvo će već odavno izumreti, iščeznuvši zajedno sa našim Suncem!

Svi Fridmanovi modeli imaju jedno zajedničko svojstvo: u nekom trenutku u prošlosti (negde pre između deset i dvadeset hiljada miliona godina) razdaljine između susednih galaksija morale su biti ravne nuli. U tom trenutku, koji nazivamo Veliki Prask, gustina Vaseljene i zakrivljenost prostorvremena bile su beskonačne. Budući da matematičari nisu u stanju da operišu beskonačnim vrednostima, to znači da opšta teorija relativnosti (na kojoj se temelje Fridmanovi modeli) predviđa da postoji jedna tačka u povesti Vaseljene gde ona sama gubi važnost. Ova tačka predstavlja primer onoga što se u matematici naziva singularnost. U stvari, sve naše teorije u fizici zasnovane su na pretpostavci da je prostorvreme jednoobrazno i gotovo ravno, te stoga prestaju da važe u singularnosti Velikog Praska, gde je zakrivljenost prostorvremena beskrajna. Ovo znači da čak i da je bilo događaja pre Velikog Praska, pomoću njih se nije moglo odrediti šta će se posle toga dogoditi, zato što bi predvidljivost otkazala u trenutku Velikog Praska. Slično tome, ako - kao što je uistinu slučaj - znamo jedino ono što se zbivalo posle Velikog Praska, ne bismo mogli da odredimo šta se odigravalo pre njega. Što se nas tiče, događaji pre Velikog Praska nisu mogli imati nikakve posledice, te stoga ne bi trebalo da sačinjavaju deo naučnog modela Vaseljene. Zato bi trebalo da ih otklonimo iz modela i da uzmemo da

vreme počinje Velikim Praskom.

Mnogim ljudima ne dopada se zamisao da vreme ima početak, verovatno zato što podseća na božanski upliv. (Katolička crkva, naprotiv, prihvatila je model Velikog Praska i 1951. zvanično je proglasila da je on u saglasnosti sa Biblijom.) Javio se stoga izvestan broj pokušaja da se izbegne zaključak da je postojao Veliki Prask. Ideja koja je dobila najveću podršku bila je nazvana teorija stacionarnog stanja. Ovu teoriju postavili su 1948. dvojica izbeglica iz Austrije pod nacističkom okupacijom, Herman Bondi i Tomas Gold, kao i Britanac Fred Hojl, koji je sa njima radio na razvoju radara za vreme rata. Zamisao se sastojala u tome da, kako se galaksije međusobno razućuju, u međuprostoru dolazi do stalnog nastajanja novih iz materije koja se neprekidno stvara. Vaseljena bi tako izgledala približno ista u svim vremenima, kao i u svim tačkama prostora. Teorija stacionarnog stanja nalagala je preinačenje opšte relativnosti kako bi se omogućilo neprekidno stvaranje materije, ali tu je bila u pitanju tako nizak obim (približno jedna čestica po kubnom kilometru godišnje) da nije dolazila u sukob sa nalazima opita. Posredi je bila dobra naučna teorija u smislu opisanom u prvom poglavlju: bila je jednostavna i iz nje su proishodila određena predviđanja koja su se mogla proveriti posmatranjima. Jedno od tih predviđanja bilo je da broj galaksija ili sličnih objekata u bilo kojoj datoj zapremini prostora treba da bude isti bez obzira na to u kom ćemo pravcu i kada pogledati. Krajem pedesetih i početkom šezdesetih godina u Kembridžu je jedna grupa astronoma, predvođena Martinom Rajlom (koji je takođe saradivao sa Bondijem, Goldom i Hojlom na radaru tokom rata), preduzela ispitivanje izvora radio-talasa koji dolaze iz kosmosa. Kembridžska grupa je pokazala da se većina ovih radio-izvora morala nalaziti izvan Galaksije (mnogi su od njih, zapravo, dovedeni u vezu sa drugim galaksijama), kao i da ima znatno više slabih nego jakih izvora. Slabe izvore su protumačili kao da su udaljeniji, a jake kao bliže. Pokazalo se da po jedinici zapremine prostora ima manje obližnjih izvora nego udaljenijih. Ovo je moglo da znači da se nalazimo u središtu jednog velikog područja Vaseljene u kome su izvori proređeniji nego drugde. Alternativno, takođe je bilo moguće da su izvori bili brojniji u prošlosti, u vreme kada su se radio-talasi otisnuli na putovanje

prema nama, nego sada. Oba objašnjenja kosila su se sa teorijom stacionarnog stanja. Štaviše, otkriće mikrotalasnog zračenja Penzijasa i Vilsona iz 1965. isto je tako ukazivalo na to da je Vaseljena morala biti znatno gušća u prošlosti. Teoriju stacionarnog stanja valjalo je, dakle, napustiti.

Drugi pokušaj da se izbegne zaključak kako je morao postojati Veliki Prask, pa, dakle, i početak vremena, potekao je 1963. od dvojice ruskih naučnika, Jevgenija Lifšica i Isaka Kalatnikova. Prema njihovom mišljenju, Veliki Prask mogao je predstavljati osobenost jedino Fridmanovih modela, koji su i sami, uostalom, bili tek aproksimacija stvarne Vaseljene. Možda su, od svih modela koji su približno odgovarali stvarnoj Vaseljeni, jedino Fridmanovi sadržali singularnost Velikog Praska. U Fridmanovim modelima sve su se galaksije međusobno direktno, udaljavale te stoga nije iznenađujuće da su se jednom u prošlosti nalazile na istom mestu. U stvarnoj Vaseljeni, međutim, galaksije se ne udaljavaju jedna od druge samo direktno već imaju i male pobočne brzine. Prema tome, u stvarnosti, one se, zapravo, nisu sve morale nalaziti na istom mestu, već samo veoma blizu jedne drugima. Možda je u tom slučaju sadašnje širenje Vaseljene proisteklo ne iz singularnosti Velikog Praska, već iz jedne ranije faze sažimanja; kako je Vaseljena kolabirala, čestice u njoj nisu se morale sve sudariti, već su se mimoišle i razišle, izazvavši na taj način sadašnje širenje Vaseljene. Kako bismo u tom slučaju mogli da ustanovimo da li je stvarna Vaseljena počela Velikim Praskom? Ono što su Lifšic i Kalatnikov preduzeli bilo je proučavanje modela Vaseljene koji su približno nalikovali Fridmanovim modelima, ali se u njima vodilo računa o nepravilnostima i nasumičnim brzinama galaksija u stvarnoj Vaseljeni. Oni su, doduše, pokazali da takvi modeli mogu početi Velikim Praskom, iako se galaksije ne udaljuju uvek direktno jedna od druge, ali su tvrdili da je tako nešto moguće jedino u izvesnim izuzetnim modelima u kojima se sve galaksije kreću na pravilan način. Prema njihovom uverenju, budući da je izgledalo da postoji neuporedivo više modela sličnih Fridmanovima bez singularnosti Velikog Praska nego onih sa njim, valjalo bi zaključiti da ni u stvarnosti nije bilo Velikog Praska. Kasnije su, međutim, uvideli da postoji jedna znatno opštija klasa modela sličnih Fridmanovima u kojima se javljaju singularnosti i kod kojih galaksije

ne moraju da se kreću ni na kakav poseban način. I tako, 1970. godine, oni su odustali od svoje zamisli.

Rad Lifšica i Kalatnikova bio je dragocen zato što je pokazao da je Vaseljena mogla imati jednu singularnost, Veliki Prask, ukoliko je ispravna opšta teorija relativnosti. Oni, međutim, nisu dali odgovor na ključno pitanje: predviđa li opšta relativnost da naša Vaseljena mora imati Veliki Prask, odnosno početak vremena? Ovaj odgovor potekao je, međutim, iz jednog potpuno drugačijeg pristupa, koji je 1965. ostvario britanski matematičar i fizičar Rodžer Penrouz. Uzevši u obzir način na koji se svetlosne kupe ponašaju u opštoj relativnosti, kao i činjenicu da gravitacija uvek djeluje privlačno, on je pokazao da jedna zvezda koja kolabira pod vlastitom gravitacijom biva zarobljena u područje čija će se površina na kraju smanjiti do nulte veličine. A budući da se površina ovog područja smanjuje do nule, isto se mora dogoditi i sa zapreminom. Svekolika materija u zvezdi bila bi tada sabijena u nultoj zapremini, tako da bi njena gustina i zakrivljenost prostorvremena postali beskonačni. Drugim rečima, nastala bi singularnost sadržana u području prostorvremena poznatom kao crna rupa.

Na prvi pogled, Penrouzov nalaz kao da važi samo za zvezde; on naizgled ništa ne govori o tome da li je svekolika Vaseljena imala singularnost Velikog Praska u prošlosti. Međutim, u vreme kada je Penrouz postavio svoju teoremu, ja sam očajnički nastojao da pronađem neki problem koji bi predstavljao predmet moje doktorske disertacije. Dve godine ranije postavili su mi dijagnozu da bolujem od amiotrofičke lateralne skleroze, poznatije kao Lu Gerigov sindrom, ili motoričke neuronske bolesti, stavivši mi do znanja da mi preostaje još samo jedna ili dve godine života. Pod takvim okolnostima nije izgledalo odveć svrhovito upustiti se u izradu doktorske teze - naprosto, za nju više nisam imao dovoljno vremena. No, protekle su dve godine, a moje stanje nije se znatnije pogoršalo. U stvari, sve je išlo prilično dobro, pa sam se čak i verio jednom veoma zgodnom devojkom po imenu Džejn Vajld. Ali da bih mogao da se oženim, bio mi je potreban posao, a da bih dobio posao, trebalo je da doktoriram. Godine 1965, doznao sam o Penrouzovoj teoremi, prema kojoj svako telo koje podlegne gravitacionom kolapsu mora na kraju da se pretvori u singularnost. Iznenada sam shvatio da ako se preokrene

smer vremena u Penrouzovoj teoremi, tako da kolabiranje postane širenje, proporcije teoreme i dalje bi ostale na snazi pod uslovom da Vaseljena približno odgovara jednom Fridmanovom modelu u velikim razmerama u ovom trenutku. Penrouzova teorema pokazala je da svaka kolabirajuća zvezda mora da završi u singularnosti; model sa obrnutim smerom vremena pokazao je, pak, da je svaka fridmanovska Vaseljena koja se širi morala početi kao singularnost. Iz tehničkih razloga, Penrouzova teorema nalagala je da Vaseljena bude prostorno beskrajna. Mogao sam, dakle, to upotrebiti da pokažem kako će singularnosti biti jedino ako se Vaseljena širi dovoljno brzo da izbegne prelazak u kolabiranje (jer samo se kod tih Fridmanovih modela javljao beskrajni prostor).

Tokom narednih nekoliko godina razvio sam nove matematičke postupke kojima sam uklonio ovaj i ostale tehničke uslove iz teorema što su dokazivale da se moraju javiti singularnosti. Konačni ishod bio je rad koji smo Penrouz i ja zajedno objavili 1970. i koji je konačno dokazao da je morala postojati singularnost Velikog Praska, pod jedinim uslovom da je opšta relativnost ispravna, odnosno da Vaseljena stvarno sadrži onoliko materije koliko mi to registrujemo. Javilo se mnogo protivljenja našem radu, delimično od strane Rusa, zbog njihovog marksističkog uverenja u naučni determinizam, a delimično od ljudi koji su smatrali da je cela zamisao o singularnostima odbojna i da narušava lepotu Ajnštajnovе teorije. Međutim, sa jednom matematičkom teoremom nema mnogo rasprave. I tako, konačno, naš rad bio je opšte prihvaćen i danas gotovo svi drže zasigurno da je Vaseljena počela singularnošću Velikog Praska. Možda stoga ima ironije u okolnosti da sada ja, pošto sam u međuvremenu promenio mišljenje, pokušavam da uverim ostale fizičare da u početku Vaseljene u stvari nije postojala singularnost - kao što ćemo kasnije videti, ona može da nestane pošto se uzmu u obzir kvantna dejstva.

Videli smo u ovom poglavlju kako se, za manje od pola stoleća, preobrazilo čovekovo viđenje Vaseljene, koje se prethodno gradilo hiljadama godina. Hablovo otkriće da se Vaseljena širi i uviđanje beznačajnosti naše planete u ogromnosti Vaseljene bili su samo početak. Kako su se eksperimentalni i teorijski radovi umnožavali, postajalo je sve jasnije da je Vaseljena morala imati početak u

vremenu, sve dok to 1970. Penrouz i ja nismo dokazali na osnovu Ajnštajnovе opšte teorije relativnosti. Ovaj dokaz pokazao je da je opšta relativnost, zapravo, nepotpuna teorija: ona nam ne može reći kako je Vaseljena počela, zato što predviđa da svi zakoni fizike, kao i ona sama, više ne važe na početku Vaseljene. Međutim, opšta teorija relativnosti i tvrdi da je samo delimična teorija, tako da ono što teorije o singularnosti uistinu pokazuju jeste da je postojalo jedno vreme u veoma ranoj Vaseljeni kada je ona bila tako mala da se tu više nisu mogla zanemariti dejstva u malim razmerama druge velike delimične teorije dvadesetog stoleća, kvantne mehanike. Početkom sedamdesetih godina, dakle, bili smo prinuđeni da naše traganje za razumevanjem Vaseljene preusmerimo sa teorije o izuzetno velikom na teoriju o izuzetno malom. O ovoj teoriji, kvantnoj mehanici, biće odmah reči, kako bismo potom mogli da upravimo napore na povezivanje dve delimične teorije u jedinstvenu kvantnu teoriju gravitacije.



## 4. NAČELO NEODREĐENOSTI

Uspeh naučnih teorija, a posebno Njutnove teorije gravitacije, naveo je francuskog naučnika, markiza Laplasa, da početkom devetnaestog stoleća ustvrdi da je Vaseljena potpuno deterministička. Laplas je smatrao da postoji skup naučnih zakona koji bi trebalo da nam omoguće da predvidimo sve što će se dogoditi u Vaseljenu, pod uslovom da znamo celokupno stanje Vaseljene u datom vremenu. Primera radi, kada bismo znali položaje i brzine Sunca i planeta u nekom trenutku, tada bismo pomoću Njutnovih zakona mogli da izračunamo stanje Sunčevog sistema u bilo kom drugom vremenu. Determinizam izgleda prilično očigledan u ovom slučaju, ali Laplas je otišao i korak dalje, ustvrdivši da postoje slični zakoni koji upravljaju svim ostalim oblastima, uključujući tu i ljudsko ponašanje.

Doktrini naučnog determinizma odlučno su se usprotivili mnogi autori koji su bili mišljenja da se ovim sputava sloboda Boga da upliviše na svet, ali ona je ipak formalno ostala na snazi u nauci sve do ranih godina ovog stoleća. Jedan od prvih pokazatelja da će ovo uverenje morati da bude napušteno usledio je kada je iz proračuna britanskih naučnika lorda Rejlja i sera Džejmisa Džinsa proizišlo da neki topli objekat, ili telo, kakva je zvezda, mora da zrači energiju u beskonačnom obimu. Saglasno zakonima u čiju se valjanost verovalo u to vreme, jedno toplo telo trebalo je da odašilje elektromagnetne talase (kao što su radio-talasi, vidljiva svetlost ili rendgenski talasi) ravnomerno na svim učestalostima. Primera radi, toplo telo trebalo bi da zrači istu količinu energije na učestalostima između jedan i dva miliona miliona talasa u sekundi, kao i na učestalostima između dva i tri miliona miliona talasa u sekundi. Budući da je broj talasa u sekundi neograničen, to bi značilo da je ukupna energija zračenja beskonačna.

Da bi izbegao ovaj očigledno besmislen ishod, nemački naučnik Maks Plank izložio je 1900. godine zamisao da svetlost, rendgenski zraci i ostali talasi ne bivaju emitovani u proizvoljnom obimu, već samo u određenim paketima koje je on nazvao kvantima. Osim toga, svaki kvant ima određenu količinu energije koja je tim veća što je

veća učestalost talasa, tako da bi na dovoljno visokoj učestalosti emitovanje samo jednog kvanta zahtevalo više energije nego što je uopšte raspoloživo. Prema tome, zračenje na visokim učestalostima bilo bi smanjeno, a i stopa kojom telo gubi energiju bila bi konačna. Kvantna hipoteza sasvim je dobro objasnila izmerenu količinu emitovanog zračenja toplih tela, ali njen uticaj na determinističku doktrinu bio je shvaćen tek 1926, kada je jedan drugi nemački naučnik, Verner Hajzenberg, formulisao svoje znamenito načelo neodređenosti. Da bi se predvideli budući položaj i brzina neke čestice, potrebno je tačno izmeriti njen sadašnji položaj i brzinu. Očigledni način da se to učini jeste osvetliti česticu. Čestica će razbiti jedan deo talasa svetlosti, što će ukazati na njen položaj. No, položaj čestice neće se moći tačnije odrediti nego što iznosi razmak između dva brega svetlosnog talasa, tako da je potrebno koristiti svetlost kratkih talasnih dužina da bi se precizno odredio položaj čestice. Prema Plankovoj kvantnoj hipotezi, međutim, ne može se upotrebiti proizvoljno mala količina svetlosti; valja uzeti bar jedan kvant. Ovaj kvant će poremetiti česticu i promeniti njenu brzinu na način koji ne možemo predvideti. Štaviše, što tačnije merimo položaj, to treba koristiti kraće talasne dužine svetlosti, pa je tako veća i energija jednog kvanta. A time će i brzina čestice biti u većoj meri poremećena. Drugim rečima, što tačnije pokušavate da izmerite položaj čestice, to manje precizno možete izmeriti njenu brzinu i obrnuto. Hajzenberg je pokazao da proizvod neodređenosti položaja čestice, neodređenosti brzine čestice i mase čestice ne može biti manji od određene veličine koja je poznata kao Plankova konstanta. Ovo ograničenje ne zavisi od načina na koji pokušavate da izmerite položaj ili brzinu čestice, kao ni od tipa čestice. Hajzenbergovo načelo neodređenosti predstavlja temeljno, neumitno svojstvo sveta. Načelo neodređenosti izvršilo je veoma važan uticaj na naš način viđenja sveta. Čak ni sada, posle više od pedeset godina, mnogi filozofi još nisu postali svesni ovog uticaja, tako da je on i dalje predmet ozbiljnih kontroverzi. Načelo neodređenosti označilo je kraj Laplasovog sna o jednoj teoriji nauke, o jednom modelu Vaseljene koji bi bio potpuno deterministički: sasvim je izvesno da se ne mogu tačno predviđati budući događaji, ako se ne može precizno izmeriti čak ni trenutno stanje Vaseljene! I dalje možemo zamišljati da postoji

skup zakona koji potpuno determinišu događaje nekom natprirodnom biću kadrom da posmatra sadašnje stanje Vaseljene, ne remeteći ga pri tom. Ovakvi modeli Vaseljene nisu, međutim, od velikog interesa za nas obične smrtnike. Izgleda prikladnije ovde primeniti načelo ekonomičnosti poznato kao Okamova oštrica i njome odrezati sva svojstva teorije koja se ne mogu posmatrati. Ovakav pristup omogućio je Hajzenbergu, Ervinu Šredingeru i Polu Diraku da tokom dvadesetih godina ovog veka preformulišu mehaniku u jednu novu teoriju koja je dobila naziv kvantna mehanika i koja se temelji na načelu neodređenosti. U ovoj teoriji, čestice više nemaju zasebne i sasvim određene položaje i brzine koji se ne mogu posmatrati. Umesto toga, one imaju kvantno stanje koje predstavlja kombinaciju položaja i brzine.

Uopšteno govoreći, kvantna mehanika ne predviđa jedinstven i određen ishod nekog posmatranja. Naprotiv, ona predviđa veći broj različitih mogućih ishoda i govori nam o tome kakvi su izgledi svakog od njih. Drugim rečima, ukoliko se preduzme isto merenje na velikom broju sličnih sistema, koji su svi započeli na isti način, ustanoviće se da će ishod merenja biti A u izvesnom broju slučajeva, B u nekom drugom broju i tako dalje. Moguće je predvideti približan broj puta kada će ishod biti A ili B, ali se ne može predvideti poseban rezultat nekog pojedinačnog merenja. Kvantna mehanika, dakle, uvodi neizbežan element nepredvidljivosti ili nasumičnosti u nauku. Ajnštajn se ovome veoma protivio, uprkos važnoj ulozi koju je sam odigrao u razvoju ove zamisli. On je, naime, dobio Nobelovu nagradu upravo za doprinos postavljanju kvantne teorije. No, Ajnštajn nikada nije prihvatio ideju da Vaseljenom vlada slučaj; njegovo gledanje na ovu stvar sažeto je iskazano u znamenitoj rečenici: 'Bog se ne igra kockicama.' Većina drugih naučnika, međutim, bila je spremna da prihvati kvantnu mehaniku zato što se ona savršeno slagala sa nalazima opita. I odista, bila je to izuzetno uspela teorija, koja stoji u temelju gotovo svekolike moderne nauke i tehnologije. Ona upravlja ponašanjem tranzistora i integrisanih kola, koji predstavljaju ključne delove elektronskih uređaja kao što su televizori i računari, a počiva u osnovi i moderne hemije i biologije. Jedina područja fizike u koja kvantna mehanika još nije prikladno uvedena jesu gravitacija i makrokosmičko ustrojstvo Vaseljene.

Iako se svetlost sastoji od talasa, Plankova kvantna hipoteza govori nam o tome da se ona u izvesnim pogledima ponaša kao da je sazdana od čestica: svetlost, naime, može biti emitovana ili apsorbovana samo u paketima, ili kvantima. Isto tako, iz Hajzenbergovog načela neodređenosti proishodi da se čestice u izvesnim pogledima ponašaju kao talasi: one nemaju određen položaj, već bivaju 'razmazane' uz izvesnu verovatnoću razmeštaja. Teorija kvantne mehanike zasnovana je na jednom potpuno novom tipu matematike koji više ne objašnjava stvarni svet iz perspektive čestica i talasa; iz ovog ugla mogu biti opisana samo posmatranja sveta. Postoji, stoga, dvojstvo između talasa i čestica u kvantnoj mehanici: za neke svrhe od koristi je o česticama razmišljati kao o talasima, dok je, pak, za druge od koristi talase smatrati za čestice. Jedna važna posledica ove okolnosti jeste da se može posmatrati ono što je dobilo naziv interferencija između dva skupa talasa i čestica. Drugim rečima, bregovi jedne skupine talasa mogu da se poklapaju sa doljama druge skupine. Dve skupine talasa mogu da se tako međusobno potru, umesto da udružene daju snažniji talas, kao što bi se očekivalo (Ilus. 4.1). Poznati primer interferencije u slučaju svetlosti jesu boje koje se često mogu videti kod mehurova od sapunice. Njih izazivaju odrazi svetlosti sa dva kraja tanke vodene opne koja obrazuje mehur. Bela svetlost sastoji se od svetlosnih talasa mnoštva različitih talasnih dužina, ili boja. Kod izvesnih talasnih dužina bregovi talasa odraženih sa jedne strane opne od sapunice poklopiće se sa doljama odraženim sa druge strane. Boje koje odgovaraju tim talasnim dužinama biće odsutne iz odražene svetlosti, koja će tako izgledati kao da je raznobojna.

Do interferencije može doći i kod čestica usled dvojnosti koju je uvela kvantna mehanika. Znameniti primer u ovom smislu jeste takozvani ogled sa dva proreza (Ilus. 4.2). Zamislite jedan paravan sa dva uska, uporedna proreza. Sa jedne strane paravana stavlja se izvor svetlosti neke određene boje (odnosno, neke određene talasne dužine). Najveći deo svetlosti zaustaviće se na paravanu, ali mala količina će ipak proći kroz proreze. Pretpostavimo sada da postavimo platno sa suprotne strane paravana u odnosu na onu gde se nalazi izvor svetlosti. Do svih tačaka na platnu stizaće talasi koji su prošli kroz dva proreza. Međutim, razdaljina koju svetlost mora da

pređe od izvora do platna kroz dva proreza biće različita. Ovo znači da talasi iz proreza neće biti u fazi jedni sa drugima kada stignu do platna: na nekim mestima će se međusobno potrti, dok će se na drugim ojačati. Ishod ove okolnosti jeste osobena šara svetlih i tamnih pruga.

Veoma je zanimljivo to da se dobija potpuno ista vrsta pruga ako se izvor svetlosti zameni izvorom čestica, kao što su elektroni sa određenom brzinom (u smislu da odgovarajući talasi imaju određenu dužinu). Ovo izgleda još neobičnije zbog okolnosti da ako postoji samo jedan prorez, onda se ne dobijaju nikakve pruge, već samo jednoobrazni razmeštaj elektrona preko platna. Stoga bi se moglo pomisliti da će se otvaranjem još jednog proreza samo povećati broj elektrona koji udaraju u svaku tačku platna, ali, usled interferencije, time se zapravo ovaj broj smanjuje na izvesnim mestima. Kada bi elektroni bili upućeni kroz proreze jedan po jedan, očekivalo bi se da svaki prođe kroz jedan ili kroz drugi prorez, te bi se tako ponašali kao da je prorez kroz koji prolaze u stvari jedini - što bi dalo jednoobrazan razmeštaj na platnu. U stvarnosti, međutim, čak i onda kada se elektroni upućuju jedan po jedan, pruge se i dalje pojavljuju. Svaki elektron, dakle, mora da prolazi kroz oba proreza u isto vreme! Pojava interferencije među česticama bila je od ključnog značaja za naše razumevanje ustrojstva atoma, osnovnih jedinica hemije i biologije i gradivnih opeka od kojih smo sazdana kako mi, tako i sve što nas okružuje. Početkom stoleća smatralo se da atomi prilično nalikuju na planete koje kruže oko Sunca, sa elektronima (česticama sa negativnim naelektrisanjem) koje kruže oko središnjeg jezgra što nosi pozitivan električni naboj. Za privlačnost između pozitivnog i negativnog elektriciteta pretpostavljalo se da zadržava elektrone na orbitama na isti način na koji gravitaciono privlačenje između Sunca i planeta zadržava ove na njihovim orbitama. Nevolja sa ovakvim viđenjem stvari ogledala se u tome što su zakoni mehanike i elektriciteta, pre kvantne mehanike, predviđali da će elektroni postepeno gubiti energiju i tako početi da se spiralno sunovraćuju ka jezgru, da bi se na kraju sudarili sa njim. Ovo je značilo da bi atomi, odnosno svekolika materija, trebalo da brzo kolabiraju u stanje veoma visoke gustine. Do delimičnog rešenja ovog problema došao je danski naučnik Nils Bor 1913. On je izložio zamisao da elektroni

možda nisu u stanju da orbitiraju na bilo kojoj udaljenosti od središnjeg jezgra, već samo na sasvim određenim razdaljinama. Ako se takođe pretpostavi da samo jedan ili dva elektrona mogu da kruže na nekoj od ovih razdaljina, onda se time rešava problem kolabiranja atoma, zato što elektroni ne bi mogli da poniru dublje od orbita sa najmanjim udaljenostima i energijama koje bi popunjavali.

Ovaj model objasnio je sasvim dobro ustrojstvo najjednostavnijeg atoma, vodonika, kod koga samo jedan elektron kruži oko jezgra. Ali nije bilo jasno kako se on može proširiti i na složenije atome. Štaviše, zamisao o ograničenom nizu dopuštenih orbita izgledala je veoma proizvoljna. Nova teorija kvantne mehanike rešila je ovu poteškoću. Ona je pokazala da se elektron koji kruži oko jezgra može shvatiti kao talas, čija dužina zavisi od njegove brzine. Kod izvesnih orbita njihove dužine odgovarale bi celom broju (kao suprotnom decimalnom broju) talasnih dužina elektrona. Kod tih orbita breg talasa nalazio bi se na istom mestu kod svakog kruga, što bi dovelo do zbrajanja talasa: ove orbite odgovarale bi Borovim dopuštenim orbitama. Međutim, kod orbita čije dužine ne predstavljaju ceo broj talasnih dužina, svaki breg bio bi ranije ili kasnije potrt nekom doljom prilikom kruženja elektrona; ove orbite ne bi bile dopuštene.

Zgodan način da se predoči dvojnost talas-čestica jeste takozvani zbir po istorijama na koji je ukazao američki naučnik Ričard Fajnmen. Prema ovoj zamisli, smatra se da čestica nema samo jednu istoriju ili putanju u prostoru vremenu, kao što bi to bio slučaj u klasičnoj, nekvalantnoj teoriji. Umesto toga, veruje se da se ona kreće od A do B svim mogućim putanjama. Uz svaku putanju vezana su dva broja: jedan predstavlja veličinu talasa, a drugi položaj ciklusa (odnosno, da li je na bregu ili u dolji). Verovatnoća prevaljivanja razdaljine između A i B ustanovljava se zbrajanjem talasa svih putanja. Uopšteno govoreći, ukoliko se uporedi skup susednih putanja, faze ili položaji u ciklusu veoma će se razlikovati. Ovo znači da će se talasi koji stoje u vezi sa tim putanjama gotovo savršeno međusobno potrti. Međutim, kod nekih skupova susednih putanja neće doći do velikih varijacija između faza. Ove putanje odgovaraju Borovim dopuštenim orbitama.

Na osnovu ovih zamisli, izloženih u konkretnom matematičkom

obliku, bilo je srazmerno lako izračunati dopuštene orbite kod složenijih atoma, pa čak i molekula, koji se sastoje od većeg broja atoma što ih na okupu drže elektroni na orbitama oko više od jednog jezgra. Budući da ustrojstvo molekula i njihove međusobne reakcije predstavljaju temelj svekolike hemije i biologije, kvantna mehanika nam u načelu omogućuje da predviđamo gotovo sve što nas okružuje, do samih granica koje postavlja načelo neodređenosti. (U praksi, međutim, izračunavanja kod sistema koji sadrže više od nekoliko elektrona toliko su složena da ih ne možemo izvesti.)

Ajnštajnova opšta teorija relativnosti upravlja makrokosmičkim ustrojem Vaseljene. Ona spada u takozvane klasične teorije; drugim rečima, ona ne uzima u obzir načelo neodređenosti kvantne mehanike, kao što bi to trebalo, ukoliko želi da bude saglasna sa ostalim teorijama. Razlog što ona ne dovodi do neslaganja sa nalazima posmatranja leži u tome što su sva gravitaciona polja koja mi normalno iskušujemo veoma slaba. Međutim, teoreme o singularnosti, o kojima je ranije bilo reči, ukazuju na to da gravitaciono polje treba da postane veoma snažno u najmanje dve situacije: kod crnih rupa i Velikog Praska. Kod takvih snažnih polja dejstva kvantne mehanike postaju važna. Prema tome, u izvesnom smislu, klasična opšta relativnost predviđa vlastito zakazivanje, nagoveštavajući postojanje tačkaka beskrajne gustine, baš kao što i klasična (odnosno, nekvantna) mehanika predviđa sopstveno zakazivanje, govoreći o tome da će atomi kolabirati do beskrajne gustine. Mi još ne raspolažemo celovitom, koherentnom teorijom koja objedinjuje opštu relativnost i kvantnu mehaniku, ali nam je zato poznat izvestan broj svojstava koja ona treba da ima. Posledice koje će ta svojstva imati po crne rupe i Veliki Prask biće opisane u narednim poglavljima. Nakratko ćemo se, međutim, vratiti skorašnjim nastojanjima da se naše razumevanje ostalih sila prirode objedini u jedinstvenu kvantnu teoriju.

## 5. ELEMENTARNE ČESTICE I SILE PRIRODE

Aristotel je verovao da se svekolika materija u Vaseljenu sastoji od četiri osnovna elementa: zemlje, vazduha, vatre i vode. Na ove elemente deluju dve sile: gravitacija, težnja zemlje i vode da tonu, i levitacija, težnja vazduha i vatre da se dižu. Ova podela sadržine Vaseljene na materiju i sile još je i danas na snazi.

Aristotel je smatrao da je materija neprekidna, odnosno da se jedan komad materije može deliti na sve manje i manje delove bez ikakvih granica: nikada se ne bi došlo do delića materije koji se dalje ne bi mogao deliti. Nekolicina Grka, kao što je bio Demokrit, verovala je, međutim, da je materija zrnastog ustrojstva, odnosno da je sve sazdano od velikog broja raznih vrsta atoma. (Reč atom na grčkom znači 'nedeljiv'.) Sučeljavanje ova dva stanovišta nastavilo se i u potonjim stolicima, bez stvarnih argumenata u prilog bilo koje strane, sve dok 1803. britanski hemičar i fizičar Džon Dalton nije ukazao na to da se činjenica da se hemijska jedinjenja uvek kombinuju u određenim srazmerama može objasniti naročitim grupisanjem atoma kojim se dobijaju jedinice nazvane molekuli. No, rasprava između dve škole mišljenja konačno je rešena u korist atomista tek početkom ovog stoleća. Jedan od važnih fizičkih dokaza ovde je pružio Ajnštajn. U jednom radu objavljenom 1905, samo nekoliko nedelja pre znamenite posebne teorije relativnosti, Ajnštajn je istakao da se ono što se naziva Braunovo kretanje - nepravilno, nasumično kretanje malih čestica prašine u nekoj tečnosti - može objasniti kao dejstvo atoma vode koji se sudaraju sa česticama prašine.

U to vreme već se javilo podozrenje da atomi, zapravo, nisu nedeljivi. Nekoliko godina ranije, profesor sa koledža Triniti u Kembridžu, Dž. Dž. Tomson, pokazao je da postoje čestice materije, nazvane elektroni, čija je masa preko hiljadu puta manja od mase najlakšeg atoma. Naprava koju je on koristio prilično je nalikovala na katodnu cev modernog televizora: jedno metalno vlakno u stanju crvenog usijanja odašiljalo je elektrone, a kako su oni imali negativno naelektrisanje, moglo se koristiti električno polje da bi se ubrzali prema naročitom ekranu optočenom fosforom. Kada bi elektroni



udarili u ekran, nastajali bi bleskovi svetlosti. Ubrzo je shvaćeno da ovi elektroni moraju poticati iz unutrašnjosti samih atoma, a 1911. britanski fizičar Ernest Raderford konačno je pokazao da atomi materije imaju unutrašnje ustrojstvo: oni se sastoje od izuzetno majušnog jezgra sa pozitivnim naelektrisanjem, oko koga orbitira izvestan broj elektrona. Zaključio je to analizujući način na koji alfa-čestice, odnosno čestice sa pozitivnim nabojem koje emituju radioaktivni atomi, skreću prilikom sudara sa atomima.

U prvi mah se smatralo da se jezgro atoma sastoji od elektrona i različitog broja pozitivno naelektrisanih čestica nazvanih protoni, od grčke reči koja znači 'prvi', budući da se verovalo da su to temeljne jedinice iz kojih je sazdana svekolika materija. Godine 1932, međutim, jedan Raderfordov kolega sa Kembridža, Džejms Čedvik, otkrio je da se u jezgru nalazi još jedna čestica, nazvana neutron, koja ima gotovo istu masu kao i proton, ali ne i električni naboj. Čedvik je dobio Nobelovu nagradu za ovo otkriće, kao i zvanje upravnika koledža Gonvil i Kiz u Kembridžu (istog onog na kome ja sada predajem). Kasnije je dao ostavku na zvanje upravnika, zbog neslaganja sa ostalim profesorima. Došlo je, naime, do žestokog spora na koledžu kada je grupa mladih profesora koja se vratila iz rata izglasala da mnogi stari profesori izgube katedre koje su dugo držali. No, sve je ovo bilo pre mog vremena. Ja sam došao u koledž 1965, sasvim na kraju ovog neprijatnog razdoblja, ali i u vreme kada je jedan sličan spor nagnao još jednog dobitnika Nobelove nagrade, ser Nevila Mota, da takođe podnese ostavku.

Sve do pre dvadesetak godina smatralo se da su protoni i neutroni 'elementarne' čestice, ali onda su ogledi u kojima su se protoni sudarali sa drugim protonima ili elektronima pri velikim brzinama pokazali da se oni, u stvari, sastoje od još manjih čestica. Fizičar sa Kalteha Marej Gel-Man nazvao je ove čestice kvarkovi, a 1969. dobio je Nobelovu nagradu za svoj rad na njima. Naziv 'kvarkovi' uzet je iz jedne zagonetne rečenice Džemsa Džojisa: 'Three quarks for Muster Mark!' Reč quark trebalo bi da se izgovara kao quart (kvort), s tim što je na kraju, k a ne, t, ali se obično izgovara tako da se rimuje sa, lark (lark).

Postoji više različitih varijeteta kvarkova: smatra se da ima najmanje šest 'ukusa' koje nazivamo gore, dole, čudno, šarmantno, dno i vrh.

Svaki ukus javlja se u tri 'boje', crvenoj, zelenoj i plavoj. (Trebalo bi naglasiti da su ovi termini samo puke oznake: kvarkovi su znatno manji od talasne dužine vidljive svetlosti, te tako ne mogu imati nikakvu boju u uobičajenom smislu. Stvar je naprosto u tome da su, kako izgleda, moderni fizičari maštovitiji u nadevanju naziva novim česticama i pojavama - oni se, naime, više ne ograničavaju na grčki!) Jedan proton ili neutron sastoji se od tri kvarka različite boje. Proton sadrži dva kvarka gore i jedan kvark dole, dok neutron sadrži dva dole i jedan gore. Moguće je stvoriti čestice sačinjene od ostalih kvarkova (neobični, šarmantni, dno i vrh), ali sve one imaju znatno veću masu i veoma se brzo raspadaju na protone i neutrone.

Danas znamo da ni atomi, a ni protoni i neutroni u njima, nisu nedeljivi. Pitanje stoga glasi: 'Šta su onda stvarne elementarne čestice, osnovne gradivne opeke iz kojih je sve sazdano?' Budući da je talasna dužina svetlosti znatno veća od razmera atoma, nema nikakve nade da ćemo na uobičajeni način 'osmotriti' delove atoma. Ovde je potrebno koristiti nešto sa znatno manjom talasnom dužinom. Kao što smo videli u prethodnom poglavlju, kvantna mehanika govori nam da su sve čestice, zapravo, talasi, kao i da što je veća energija čestica, to je manja dužina odgovarajućih talasa. Prema tome, najbolji odgovor koji možemo dati na naše pitanje zavisi od toga koliko visoku energiju čestice imamo na raspolaganju, zato što ovaj činilac određuje koliko ćemo male razmere moći da vidimo. Ove energije čestica obično se mere jedinicom koja se naziva elektron volt. (Kod Tomsonovih ogleda sa elektronima videli smo da je on koristio električno polje da bi ubrzavao elektrone. Energija koju elektron dobija od električnog polja od jednog volta poznata je kao elektron volt.) U devetnaestom stoleću, kada je jedina energija čestica za koju su ljudi znali kako da je koriste bila niska energija od nekoliko elektron volti što su je stvarale hemijske reakcije kao što je gorenje, smatralo se da su atomi najmanje jedinice. U Raderfordovom ogledu, alfa-čestice imale su energiju koja je dostizala na milione elektron volti. U novije vreme naučili smo kako da koristimo elektromagnetna polja da bismo dobili energije čestica najpre od više miliona, a potom i na hiljade miliona elektron volti. I tako smo doznali da se čestice za koje smo pre samo dvadeset godina smatrali da su 'elementarne' sastoje, zapravo, od još manjih

čestica. Može li se za ove ispostaviti, kako idemo ka još višim energijama, da se sastoje od još manjih čestica? To je svakako moguće, ali postoje izvesni teorijski razlozi za verovanje da smo već došli - ili smo im sasvim blizu - do krajnjih gradivnih opeka prirode.

Pomoću dvojnosti talas-čestica, o čemu je bilo reči u prethodnom poglavlju, sve se u Vaseljeni, računajući tu svetlost i gravitaciju, može opisati iz perspektive čestica. Čestice imaju jedno svojstvo koje se naziva spin. Jedan od načina da se predoči ovaj spin jeste da se čestice zamisle kao male čigre koje se okreću oko svoje ose. Ovo poređenje, međutim, može da stvori pogrešnu predstavu, budući da nas kvantna mehanika uči da čestice nemaju neku određenu osu. Ono što nam spin čestica zapravo govori jeste to kako čestica izgleda iz raznih pravaca. Čestica sa spinom 0 odgovara tački: ona izgleda ista iz svih pravaca (Ilus. 5.1 i). Sa druge strane, čestica sa spinom 1 odgovara streli: ona ima različit izgled iz različitih pravaca (Ilus. 5.1 ii), odnosno izgleda ista samo ako se okrene za ceo krug (360 stepeni). Čestici sa spinom 2 odgovara dvostrana strela (Ilus. 5.1 iii): ona izgleda ista ako se okrene za pola kruga (180 stepeni). Slično tome, čestice sa većim spinom izgledaju iste ako se okrenu za srazmerno manji deo punoga kruga. Sve ovo deluje prilično normalno, ali izuzetna je činjenica da postoje čestice koje ne izgledaju isto ako se okrenu samo za jedan krug: potrebno ih je, naime, okrenuti dva puna kruga! Za ovakve čestice kaže se da imaju spin od  $1/2$ .

Sve poznate čestice u Vaseljeni mogu se podeliti u dve skupine: čestice sa spinom  $1/2$ , od kojih se sastoji materija u Vaseljeni, i čestice sa spinom 0, 1 i 2, koje, kako ćemo videti, stoje u osnovi sila što dejstvuju između čestica materije. Čestice materije pokoravaju se onome što se naziva Paulijevo načelo isključenja. Ovo načelo otkrio je 1925. austrijski fizičar Wolfgang Pauli, za šta mu je 1945. pripala Nobelova nagrada. On je bio arhetip teorijskog fizičara: za njega se pričalo da je čak i samo njegovo prisustvo u nekom gradu imalo za posledicu propast svih praktičnih opita koji se tu vrše! Paulijevo načelo isključenja kaže da dve istovrsne čestice ne mogu postojati u istom stanju, odnosno one ne mogu imati isti položaj i istu brzinu u okviru međa koje određuje načelo neodređenosti. Načelo isključenja je od ključne važnosti zato što objašnjava zbog čega ne dolazi do

kolabiranja čestica materije u stanje veoma velike gustine pod dejstvom sila što ih stvaraju čestice sa spinom 0, 1 i 2: da čestice materije imaju praktično iste položaje, onda bi morale da imaju različite brzine, što znači da se ne bi dugo zadržale na istom mestu. Da je svet stvoren bez načela isključenja, kvarkovi ne bi obrazovali zasebne, sasvim određene protone i neutrone. Niti bi ovi, zajedno sa elektronima, obrazovali zasebne, sasvim određene atome. Svi bi kolabirali, obrazujući uglavnom jednoobraznu, gustu 'supu'.

Do ispravnog razumevanja elektrona i drugih čestica sa spinom od  $1/2$  došlo je tek 1928, kada je Pol Dirak, koji je kasnije postao šef katedre za matematiku na Kembridžu (iste one koju je nekada Njutn držao i koju ja sada držim), postavio svoju znamenitu teoriju. Dirakova teorija bila je prva koja se slagala kako sa kvantnom mehanikom, tako i sa opštom teorijom relativnosti. Ona je matematički objašnjavala zašto elektron ima spin od  $1/2$ , odnosno zašto ne izgleda isti ako ga okrenete samo jedan krug, a izgleda ako ga okrenete dva kruga. Ova teorija takođe je predviđala da elektron treba da ima parnjaka: antielektron ili pozitron. Otkriće pozitrona 1932. potvrdilo je Dirakovu teoriju i dovelo do toga da on dobije Nobelovu nagradu za fiziku 1933. Mi danas znamo da svaka čestica ima antičesticu sa kojom može da se potre. (U slučaju čestica koje nose energiju, antičestice su iste kao i same čestice.) Sasvim je moguće da postoje čitavi antisvetovi i antiljudi sazdana od antičestica. Međutim, ako vam se dogodi da sretnete antiverziju samoga sebe, nipošto se nemojte rukovati! Obojica ćete nestati u silnom blesku svetlosti. Pitanje zbog čega izgleda da ima neuporedivo više čestica nego antičestica oko nas izuzetno je važno i ja ću se na njega vratiti kasnije u ovom poglavlju.

U kvantnoj mehanici smatra se da se sile ili međudejstva između čestica materije odigravaju posredstvom čestica čiji je spin celi broj 0, 1 ili 2. Događa se, zapravo, to da čestica materije, kao što je elektron ili kvark, emituje česticu koja nosi silu. Posledica ovog emitovanja jeste promena brzine čestice materije. Čestica koja nosi silu potom se sudara sa nekom drugom česticom materije i biva apsorbovana. Ovaj sudar menja brzinu druge čestice, baš kao da je došlo do dejstva neke sile između dve čestice materije.

Važno svojstvo čestica koje nose silu jeste to da se one ne

pokoravaju načelu isključenja. Ovo znači da ne postoji granica u pogledu broja čestica koje mogu biti razmenjene, te su tako one u stanju da proizvedu jaku silu. Ako, međutim, čestice koje nose silu imaju veliku masu, onda je teško proizvoditi ih i razmenjivati na velikim udaljenostima. Stoga će sile koje one nose imati samo kratak domet. Sa druge strane, ako čestice koje nose silu nemaju vlastitu masu, te sile će biti dalekodomne. Čestice koje nose silu i koje se razmenjuju među česticama materije nazivaju se virtuelne čestice, zato što se, za razliku od 'stvarnih', ne mogu neposredno otkriti detektorom čestica. Mi, međutim, znamo da one postoje zato što im se dejstva mogu meriti: one tvore silu između čestica materije. Čestice sa spinom 0, 1 ili 2 postoje pod izvesnim okolnostima i kao stvarne čestice, kada se neposredno mogu meriti. One se onda pojavljuju u obliku za koji bi jedan klasični fizičar rekao da je talas; posredi mogu biti svetlosni ili gravitacioni talasi. Oni ponekad mogu biti emitovani kada čestice materije stupaju u međudejstvo, razmenjujući pri tom virtuelne čestice koje nose silu. (Primer radi, elektroodbojna sila između dva elektrona dovodi do razmene virtuelnih fotona, koji se nikada ne mogu neposredno otkriti; ali ako jedan elektron prođe pokraj drugoga, može se dogoditi da dođe do odvajanja stvarnih fotona, koje onda registrujemo kao svetlosne talase.)

Čestice koje nose silu mogu se podeliti u četiri vrste, prema snazi sile koju nose i prema česticama sa kojima stupaju u međudejstvo. Treba, međutim, istaći da je ova podela na četiri vrste samo uslovna; ona je pogodna za postavljanje delimičnih teorija, ali možda ne odgovara dubljim slojevima stvarnosti. Osim toga, većina fizičara se nada da će doći do objedinjene teorije koja će objasniti sve četiri sile kao različite vidove jedne jedinstvene sile. Za mnoge je ovo, zapravo, osnovni zadatak savremene fizike. Nedavno su preduzeti uspešni pokušaji da se objedine tri od četiri vrste sila - o čemu će detaljnije biti reči u ovom poglavlju. Pitanje objedinjenja jedine preostale sile, gravitacije, ostavićemo za kasnije.

Prva vrsta je gravitaciona sila. Ova sila je univerzalna, odnosno svaka čestica oseća silu teže već u zavisnosti od svoje mase ili energije. Gravitacija je ubedljivo najslabija od četiri sile; ona je toliko slaba da bi ostala potpuno nezapažena kada ne bi imala dva

posebna svojstva: djeluje na velikim udaljenostima i uvek je privlačna. Ovo znači da se veoma slabe gravitacione sile među pojedinačnim česticama u dva velika tela, kao što su, na primer, Zemlja i Sunce, mogu sabrati u prilično jaku silu. Ostale tri sile su ili kratkodometne, ili ponekad privlačne, a ponekad odbojne, te tako teže da se potiru. Prema viđenju gravitacionog polja iz perspektive kvantne mehanike, za nosioca sile između dve čestice materije smatra se jedna čestica sa spinom 2, koja se naziva graviton. On nema sopstvenu masu, tako da je sila koju nosi dalekodometna. Gravitaciona sila između Sunca i Zemlje pripisuje se razmeni gravitona među česticama koje sačinjavaju ova dva tela. Iako su razmenjene čestice virtuelne, one i te kako proizvode merljiva dejstva među kojima je najistaknutije orbitiranje Zemlje oko Sunca! Stvarni gravitoni tvore ono što bi klasični fizičari nazvali gravitacionim talasima. Ovi talasi su izuzetno slabi, tako da do danas još uopšte nisu registrovani.

Narednu vrstu predstavlja elektromagnetna sila koja stupa u dejstvo sa naelektrisanim česticama, kao što su elektroni ili kvarkovi, ali ne i sa česticama bez naelektrisanja, kao što su gravitoni. Ona je znatno snažnija od gravitacione sile: elektromagnetna sila između dva elektrona snažnija je od gravitacione sile milion miliona miliona miliona miliona miliona puta (jedinica iza koje se pruža niz od četrdeset dve nule). Postoje, međutim, dve vrste električnog naboja: pozitivan i negativan. Sila između dva pozitivna naboja djeluje odbojno, baš kao i sila između dva negativna naboja, ali je zato sila između pozitivnog i negativnog naboja privlačna. Jedno veliko telo, kao što je Zemlja ili Sunce, sadrži približno podjednak broj pozitivnih i negativnih naboja. Privlačne i odbojne sile između pojedinačnih čestica stoga se međusobno gotovo potiru, tako da postoji veoma malo čiste elektromagnetne sile. U malim razmerama atoma i molekula, međutim, elektromagnetne sile preovlađuju. Elektromagnetno privlačenje između negativno naelektrisanih elektrona i pozitivno naelektrisanih protona u jezgru nagoni elektrone da orbitiraju oko atomskog jezgra, baš kao što gravitaciono privlačenje nagoni Zemlju da kruži oko Sunca. Smatra se da u zaleđu elektromagnetne sile stoji razmena velikog broja virtuelnih čestica bez mase, sa spinom 1, koje se nazivaju fotoni. Fotoni koji se

razmenjuju predstavljaju, dakle, virtuelne čestice. Međutim, kada elektron pređe sa jedne dopuštene orbite na drugu, bližu jezgru, dolazi do oslobađanja energije i emitovanja stvarnog fotona - koji ljudsko oko može da registruje kao vidljivu svetlost, ukoliko on ima odgovarajuću talasnu dužinu. Ovo registrovanje vrši i detektor fotona, kakav je fotografski film. Isto tako, ako se stvarni foton sudari sa atomom, on može da izbaci neki elektron sa orbite bliže jezgru na neku udaljeniju. Tom prilikom biva utrošena energija fotona, te on tako postaje apsorbovan.

Treću vrstu predstavlja slaba nuklearna sila, koja stoji u osnovi radioaktivnosti i koja dejstvuje na sve čestice materije sa spinom  $1/2$ , ali ne i na one sa spinom 0, 1 ili 2, kao što su fotoni i gravitoni. Prava priroda slabe nuklearne sile shvaćena je tek 1967, kada su Abdus Salam sa londonskog koledža Imperijal i Stiven Vajnberg sa Harvarda nezavisno jedan od drugoga postavili teorije koje su objedinile ovu vrstu međudejstava sa elektromagnetnom silom, baš kao što je stotinak godina ranije Maksvel objedinio elektricitet i magnetizam. Prema ovim teorijama, pored fotona postoje još tri čestice sa spinom 1, koje se zajedno nazivaju masivni vektorski bozoni i koje nose slabu silu. Ovi bozoni dobili su naziv  $W^+$  (izgovara se 've plus'),  $W^-$  (izgovara se 've minus') i  $Z^0$  (izgovara se 'zed nula') i svaki od njih ima masu od oko 100 GeV (gigaelektron volti, ili hiljadu miliona elektron volti). Iz Vajnberg-Salamove teorije proishodi jedno svojstvo poznato kao spontano razbijanje simetrije. Ono, naime, što je izgledalo kao izvestan broj potpuno različitih čestica na niskim energijama pokazuje se, zapravo, kao isti tip čestice, samo u različitim stanjima. Na visokim energijama sve ove čestice se slično ponašaju. Efekat prilično nalikuje ponašanju kuglice na točku ruleta. Pri velikim energijama (kada se točak brzo okreće) kuglica se ponaša u osnovi na samo jedan način - ona neprekidno kruži. Ali kada točak uspori okretanje, energija kuglice se smanjuje i ova konačno pada u jedan od trideset sedam odeljaka na točku. Drugim rečima, pri niskim energijama postoji trideset sedam različitih stanja u kojima se javlja kuglica. Ako bismo, iz nekog razloga, bili u stanju da vidimo kuglicu jedino pri niskim energijama, došli bismo do zaključka da, zapravo, postoji trideset sedam različitih tipova kuglica! U Vajnberg-Salamovoj teoriji, pri energijama višim od 100 GeV tri

nove čestice i foton ponašali bi se na sličan način. Ali pri nižim energijama čestica, koje se javljaju u većini normalnih situacija, dolazi do razbijanja ove simetrije između čestica.  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z^0$  stekli bi veće mase, što bi uslovalo da sile koje oni nose budu sasvim kratkodometne. U vreme kada su Salam i Vajnberg izložili svoju teoriju, malo fizičara im je verovalo, a akceleratori čestica nisu bili dovoljno snažni da domaše energije od 100 GeV neophodne da bi se proizvele stvarne  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z^0$  čestice. Međutim, tokom naredne decenije predviđanja ove teorije na nižim energijama bila su u toj meri saglasna sa nalazima opita da su, 1979. Salam i Vajnberg dobili Nobelovu nagradu za fiziku, zajedno sa Šeldonom Glešouom, takođe sa Harvarda, koji je postavio sličnu objedinjenu teoriju elektromagnetne i slabe nuklearne sile. Odbor za dodelu Nobelove nagrade bio je pošteđen neugodnosti da je pogrešio kada su 1983. u CERN-u (Evropskom centru za nuklearna istraživanja) konačno otkrivena tri masivna partnera fotona, sa tačno predviđenim masama i ostalim svojstvima. Karlo Rubija, koji je predvodio ekipu od nekoliko stotina fizičara što su došli do ovog otkrića, takođe je, 1984, dobio Nobelovu nagradu, zajedno sa Simonom van der Merom, inženjerom iz CERN-a, koji je saznao sistem za usklađivanje antimaterije, što je tom prilikom bio upotrebljen. (Veoma je teško steći uvažavanje u eksperimentalnoj fizici ovih dana, osim ako već niste na vrhu!)

Četvrtu vrstu predstavlja jaka nuklearna sila koja drži na okupu kvarkove u protonu i neutronu, baš kao i proton i neutron zajedno u jezgru atoma. Veruje se da ovu silu nosi jedna čestica sa spinom 1, nazvana gluon, koja stupa u dejstvo jedino sa samom sobom i sa kvarkovima. Jaka nuklearna sila ima jedno neobično svojstvo koje se naziva ograničenje ('confinement'): ona uvek povezuje čestice u takve kombinacije koje nemaju boju. Ne može se izdvojeno imati pojedinačni kvark, zato što bi on imao boju (crvenu, zelenu ili plavu). Umesto toga, jedan crveni kvark mora da bude 'užetom' gluona povezan sa jednim zelenim i jednim plavim kvarkom (crveno + zeleno + plavo = belo). Ovakva trojka obrazuje jedan proton ili jedan elektron. Druga mogućnost jeste par u čiji sastav ulaze jedan kvark i jedan antikvark (crveno + anticrveno, zeleno + antizeleno ili plavo + antiplavo = belo). Ovakve kombinacije tvore čestice koje se nazivaju mezoni i koje su nestabilne, zato što se kvark i antikvark mogu



međusobno potrti, pri čemu nastaju elektroni i druge čestice. Slično tome, ograničenje onemogućava da se izdvojeno dobije pojedinačni gluon, zato što i gluoni imaju boju. Umesto toga, potrebno je imati skup gluona čije se boje sabiraju u belu. Ovakav skup obrazuje nestabilnu česticu koja se naziva 'vezano stanje gluona'.

Okolnost da ograničenje onemogućava da se dobiju izdvojeni kvark ili gluon kao da celu zamisao o kvarkovima i gluonima kao česticama čini unekoliko metafizičkom. Postoji, međutim, još jedno svojstvo jake nuklearne sile koje se naziva asimptotička sloboda i koje predstavu o kvarkovima i gluonima čini sasvim određenom. Pri normalnim energijama, jaka nuklearna sila uistinu je jaka i ona čvrsto povezuje kvarkove. Ogledi vršeni na velikim akceleratorima čestica pokazuju, međutim, da pri velikim energijama jaka sila postaje znatno slabija, tako da se tu kvarkovi i gluoni ponašaju gotovo kao slobodne čestice. Ilustracija 5.2 prikazuje snimak sudara između visokoenergetskih protona i antiprotona. Pri tom je nastao veći broj gotovo slobodnih kvarkova, koji su svoj trag ostavili u vidu niza 'mlazeva'.

Uspešno objedinjenje elektromagnetne i slabe nuklearne sile nadahnulo je veći broj pokušaja da se ove dve sile povežu sa jakom nuklearnom silom u velikoj objedinjenoj teoriji (VOT). Ovaj naziv je, međutim, prekomeran: postavljene teorije nisu ni naročito velike, niti su sasvim objedinjene, budući da ne obuhvataju gravitaciju. Uz to, posredi nisu ni uistinu celovite teorije, zato što sadrže izvestan broj parametara čije se vrednosti ne mogu predvideti iz teorije, već ih valja tako odabrati da budu u saglasnosti sa nalazima opita. No, one ipak predstavljaju korak napred ka celovitoj, potpuno objedinjenoj teoriji. Evo osnovne zamisli na kojoj se temelje VOT-i: kao što je prethodno bilo pomenuto, jaka nuklearna sila postaje slabija pri visokim energijama. Sa druge strane, elektromagnetna i slaba sila, koje nisu asimptotički slobodne, postaju snažnije pri visokim energijama. Pri nekoj veoma visokoj energiji, koja se naziva velika energija objedinjenja, ove tri sile imale bi istu snagu, te bi tako mogle biti samo različiti vidovi jedne jedinstvene sile. VOT-i takođe predviđaju da će pri ovoj energiji različite čestice materije sa spinom  $1/2$  takođe biti u osnovi iste, čime se postiže još jedno objedinjenje. Vrednost velike energije objedinjenja nije još tačno poznata, ali će

ona po svoj prilici morati da iznosi najmanje hiljadu miliona miliona GeV. Sadašnja generacija akceleratora čestica može da izazove njihovo sudaranje pri energijama od oko 100 GeV, a planira se izgradnja mašina koje bi ovu vrednost podigle na nekoliko hiljada GeV. Međutim, mašina koja bi bila dovoljno moćna da ubrza čestice do velike energije objedinjenja morala bi da bude velika poput Sunčevog sistema - tako da je malo verovatno da bi se za nju našla sredstva u trenutnoj ekonomskoj klimi. Nemoguće je, dakle, staviti na proveru velike objedinjene teorije neposredno u laboratoriji. Međutim, baš kao i u slučaju teorije koja objedinjuje elektomagnetnu i slabu nuklearnu silu, postoje niskoenergetske posledice teorije koju treba proveriti.

Najzanimljivije među njima jeste predviđanje da se protoni, koji sačinjavaju najveći deo mase obične materije, mogu spontano raspadati na lakše čestice kao što su antielektroni. Ovo je moguće stoga što pri velikoj energiji objedinjenja nema nikakve suštinske razlike između jednog kvarka i jednog antielektrona. Tri kvarka u jednom protonu normalno nemaju dovoljno energije da se promene u antielektrone, ali sasvim retko jedan od njih može steći dovoljno energije za ovaj prelaz, budući da iz načela neodređenosti proishodi da energija kvarkova u protonu ne može tačno biti fiksirana. To bi dovelo do raspadanja protona. No, verovatnoća da će jedan kvark steći dovoljno energije tako je mala da bi se na ovako nešto moralo čekati najmanje milion miliona miliona miliona godina (jedinica iza koje se pruža niz od trideset nula). To je znatno duže od vremena proteklog od Velikog Praska, koje približno iznosi tek pukih deset hiljada miliona godina (jedinica iza koje se pruža niz od deset nula). Na osnovu ovoga moglo bi se pomisliti da se mogućnost spontanog raspadanja protona ne može eksperimentalno proveriti. Međutim, izgledi za otkriće ovakvog raspadanja mogu se povećati ako se posmatra velika količina materije koja sadrži ogroman broj protona. (Ako se, na primer, posmatra tokom razdoblja od godinu dana broj protona koji je ravan jedinici iza koje se pruža niz od trideset jedne nule, moglo bi se očekivati, prema najjednostavnijem VOT-u, da se uoči više od jednog raspadanja protona.)

Izveden je izvestan broj ovakvih oglada, ali nijedan nije pružio konačan dokaz o raspadanju protona ili neutrona. U jednom opitu

korišćeno je osam hiljada tona vode i on je preduzet u rudniku soli Morton u Ohaju (da bi se izbegli drugi događaji, izazvani kosmičkim zracima, koji bi mogli biti pobrkani sa raspadanjem protona). Budući da nije zabeleženo spontano raspadanje protona tokom eksperimenta, može se izračunati da verovatni život protona mora biti veći od deset miliona miliona miliona miliona godina (jedinica iza koje se pruža niz od trideset jedne nule). Ovo je duže od vremena koje predviđa najjednostavnija objedinjena teorija, ali postoje složenije teorije u kojima je predviđeni vek protona duži. Da bi se one proverile, biće potrebni još osetljiviji opiti sa većim količinama materije.

Iako je veoma teško registrovati spontano raspadanje protona, sasvim je moguće da samo naše postojanje predstavlja posledicu obrnutog procesa, obrazovanja protona, ili, jednostavnije, kvarkova, iz početne situacije u kojoj nije bilo više kvarkova nego antikvarkova, što predstavlja najprirodniji način da se zamisli početak Vaseljene. Materija na Zemlji poglavito je sazdana od protona i neutrona, koji su, pak, sastavljeni od kvarkova. Ne postoje antiprotoni i antineutroni sačinjeni od antikvarkova, osim onih nekoliko koje fizičari proizvode u velikim akceleratorima čestica. Posredstvom kosmičkih zraka znamo da isto važi i za svu ostalu materiju u našoj Galaksiji: nema antiprotona ili antineutrona, osim onog malog broja koji biva obrazovan u vidu parova čestica-antičestica pri visokoenergetskim sudarima. Kada bi u našoj Galaksiji postojala velika područja antimaterije, očekivali bismo da beležimo obimne količine zračenja sa granica između oblasti materije i antimaterije, gde bi se mnoge čestice sudarale sa svojim antičesticama, potirući se pri tom i odašiljući visokoenergetsko zračenje.

Ne raspoložemo neposrednim nalazima o tome da li je materija u drugim galaksijama sazdana od protona i neutrona ili od antiprotona i antineutrona, ali mora biti jedna od ove dve mogućnosti: ne može postojati mešavina u jednoj galaksiji, budući da bismo u tom slučaju takođe registrovali zamašno zračenje nastalo pri potiranju. Stoga smatramo da se sve galaksije sastoje od kvarkova, a ne od antikvarkova; izgleda, naime, neverovatno da su neke galaksije sačinjene od materije, a druge od antimaterije.

Zbog čega, međutim, ima nesravnjivo više kvarkova od

antikvarkova? Zašto ne postoji jednak broj jednih i drugih? Po nas je to svakako srećna okolnost što su ovi brojevi nejednaki, jer da nije tako, gotovo svi kvarkovi i antikvarkovi međusobno bi se potrljali još u ranoj Vaseljini, koja bi potom ostala ispunjena jedino zračenjem, a ne i materijom. Tada ne bi postojale galaksije, zvezde i planete na kojima bi se mogao razviti ljudski život. Srećom, velike objedinjene teorije mogle bi da pruže odgovor na pitanje zašto Vaseljina sada sadrži više kvarkova nego antikvarkova, čak i ako je u početku imala podjednak broj ovih čestica. Kao što smo videli, VOT-i dopuštaju mogućnost da se kvarkovi pretvaraju u antielektrone pri visokim energijama. Ove teorije takođe dopuštaju obrnute procese, pretvaranje antikvarkova u elektrone, odnosno pretvaranje elektrona i antielektrona u antikvarkove i kvarkove. Postojalo je jedno vreme u veoma ranoj Vaseljini kada je bilo tako toplo da su energije čestica imale dovoljno visoku vrednost da dođe do ovih pretvaranja. Ali zašto je ovo dovelo do nastajanja više kvarkova nego antikvarkova? Razlog je to što zakoni fizike nisu sasvim isti za čestice i antičestice. Sve do 1956. smatralo se da zakoni fizike ostaju ravnopravno na snazi u sve tri zasebne simetrije koje se nazivaju C, P i T. Simetrija C znači da su zakoni isti kod čestica i kod antičestica. Simetrija P znači da su zakoni isti kod bilo koje situacije i njenog odraza u ogledalu (odraz u ogledalu neke čestice koja ima desni spin jeste čestica koja ima levi spin). Simetrija T znači da ako se okrene smer kretanja čestica i antičestica, onda bi sistem trebalo da se vrati u pređašnja stanja; drugim rečima, zakoni su isti kod kretanja napred i nazad kroz vreme.

Godine 1956. dvojica američkih fizičara, Čung-Dao Li i Čen Ning Jang, izložila su zamisao da se slaba sila ne pokorava simetriji P. Drugim rečima, slaba sila dovela bi do razvoja Vaseljine na drugačiji način od onoga na koji bi se razvijala slika u ogledalu Vaseljine. Još iste godine, jedna njihova koleginica, Čijen Šiung Vu, dokazala je da je pretpostavka Lija i Janga tačna. To je učinila na taj način što je postavila jezgra radioaktivnih atoma u magnetno polje tako da su se sva okretala u istom smeru, pokazavši pri tom da do oslobađanja elektrona dolazi više u jednom smeru nego u drugom. Naredne godine Li i Jang dobili su Nobelovu nagradu za svoju zamisao. Takođe je ustanovljeno da se slaba sila ne pokorava ni simetriji C. To

znači da bi se Vaseljena sazdana od antičestica ponašala različito od naše Vaseljene. No, kako izgleda, slaba sila se pokorava kombinovanoj simetriji CP. Drugim rečima, Vaseljena bi se razvijala na isti način kao i njena slika u ogledalu ako bi se svaka čestica zamenila antičesticom! Međutim, 1964. godine dvojica drugih Amerikanaca, Dž. V. Kronin i Vol Fič, ustanovila su da čak ni CP simetrija ne ostaje na snazi u slučaju izvesnih čestica koje se nazivaju K-mezoni. Kronin i Fič su konačno dobili Nobelovu nagradu za svoj rad 1980. (Mnoštvo ovih nagrada je dodeljeno fizičarima koji su pokazali da Vaseljena nije tako jednostavna kako se to nama moglo činiti!)

Postoji jedna matematička teorema koja kaže da svaka teorija koja je u saglasnosti sa kvantnom mehanikom i relativnošću mora uvek da se pokorava udruženoj simetriji CPT. Drugim rečima, Vaseljena bi morala da se ponaša isto ako se čestice zamene antičesticama, ako je posredi njena slika u ogledalu i ako je okrenut smer vremena. Ali Kronin i Fič su pokazali da ako se čestice zamene antičesticama i uzme slika u ogledalu, ali se ne okrene smer vremena, onda se Vaseljena ne ponaša na isti način. Zakoni fizike se, dakle, moraju promeniti - ako se okrene smer vremena oni se ne pokoravaju simetriji T.

Rana Vaseljena svakako se ne pokorava simetriji T: kako vreme teče napred, Vaseljena se širi - kada bi teklo unazad, Vaseljena bi se sažimala. Kako, dakle, postoje sile koje se ne pokoravaju simetriji T, odavde sledi da prilikom širenja Vaseljene te sile mogu izazvati da se više antielektrona pretvara u kvarkove nego elektrona u antikvarkove. Potom, kako se Vaseljena bude raširila i ohladila, antikvarkovi bi se potrli sa kvarkovima, ali kako bi ovih potonjih bilo više nego prvih, javio bi se izvestan mali preostatak kvarkova. Upravo ovaj pretek obrazovao bi materiju koju mi vidimo danas i od koje smo i sami sazdana. Prema tome, naše samo postojanje moglo bi se smatrati kao potvrda velikih objedinjenih teorija, premda samo kvalitativna; neodređenosti su takve da se ne može predvideti broj kvarkova koji bi preostao posle potiranja, pa čak ni to da li bi preostali kvarkovi ili antikvarkovi. (Da je posredi bio pretek antikvarkova, međutim, onda bismo naprosto antikvarkove nazvali kvarkovima, a kvarkove antikvarkovima.)

Velike objedinjene teorije ne obuhvataju silu gravitacije. Ovo, međutim, nije odveć značajno, budući da je gravitacija sasvim slaba sila, tako da se njena dejstva obično mogu zanemariti kada su posredi elementarne čestice i atomi. Međutim, činjenica da je ona dalekometna i uvek privlačna znači da joj se dejstva sabiraju. Prema tome, kod dovoljno velikog broja čestica materije gravitaciona sila odnosi prevagu u odnosu na sve ostale sile. To je i razlog što gravitacija određuje razvoj Vase ljene. Čak i kada su u pitanju tela veličine zvezda, privlačno dejstvo gravitacije može da nadjača sve ostale sile i da dovede do kolabiranja zvezde. Tokom sedamdesetih godina, ja sam se bavio izučavanjem crnih rupa koje mogu da proishode iz ovakvog kolabiranja zvezda, kao i snažnog gravitacionog polja oko njih. Upravo ovaj rad naveo me je na pomisao o tome kako se mogu dovesti u vezu kvantna mehanika i opšta relativnost: bio je to prvi nagoveštaj buduće kvantne teorije gravitacije.

## 6. CRNE RUPE

Termin crne rupe sasvim je novog datuma. Godine 1969. skovao ga je američki naučnik Džon Viler kao grafički opis jedne zamisli koja je stara najmanje dve stotine godina. Ova zamisao potiče iz vremena kada su postojale dve teorije o svetlosti. Prema prvoj, kojoj je Njutn davao preimućstvo, svetlost je sazdana od čestica; prema drugoj, ona se sastoji od talasa. Mi danas znamo da su, u stvari, obe teorije ispravne. Prema dvojnosti talas-čestica iz kvantne mehanike, svetlost može biti i talas i čestica. U teoriji prema kojoj je svetlost sazdana od talasa nije bilo jasno kako će ona reagovati na gravitaciju. Ali ako se svetlost sastoji od čestica, onda se može očekivati da na njih deluje gravitacija na isti način na koji utiče na topovsku đulad, rakete i planete. Naučnici su u početku mislili da se čestice svetlosti kreću beskonačno brzo, tako da gravitacija ne bi bila u stanju da ih usporava, ali Remerovo otkriće da se svetlost kreće konačnom brzinom značilo je da bi gravitacija mogla da vrši na nju značajan uticaj.

Pošavši od ove pretpostavke, profesor sa Kembridža Džon Mićel objavio je 1783. u Philosophical Transaction of the Royal Society of London rad u kome je istakao da bi zvezda koja je dovoljno masivna i zbijena imala tako snažno gravitaciono polje da mu ni svetlost ne bi mogla pobeći: svetlost zračenu sa površine zvezde gravitaciono polje vratilo bi natrag pre no što bi ona znatnije odmakla. Mićel je smatrao da možda postoji veliki broj ovakvih zvezda. Iako mi ne bismo bili u stanju da ih vidimo, zato što do nas ne bi stizala svetlost sa njih, ipak bismo osećali njihovo gravitaciono privlaćenje. Ove objekte mi danas nazivamo crne rupe, zato što su oni upravo to: crne praznine u kosmosu. Na sličnu zamisao došao je nekoliko godina kasnije francuski naučnik Laplas, kako izgleda nezavisno od Mićela. Zanimljivo je da je Laplas uključio ovu ideju samo u prvo i drugo izdanje svoje knjige Sistem sveta, da bi je potom izostavio u narednim izdanjima; možda je došao do zaključka da je posredi luda zamisao. (I teorija prema kojoj se svetlost sastoji od čestica pala je u nemilost naučnika u devetnaestom stoleću; izgledalo je da se sve može objasniti iz perspektive talasne prirode svetlosti, a prema njoj

nije bilo jasno da li gravitacija uopšte deluje na svetlost.)

Nije, međutim, sasvim na mestu izjednačiti svetlost sa topovskom đuladi u Njutnovoj teoriji gravitacije, zato što je brzina svetlosti nepromenljiva. (Topovsko đule koje biva ispaljeno uvis sa Zemlje gravitacija će najpre usporavati, a potom i zaustaviti, da bi ono zatim počelo da pada natrag na površinu; jedan foton, međutim, mora da nastavi nagore stalnom brzinom. Kako u tom slučaju njutnovska gravitacija može da deluje na svetlost?) Koherentna teorija o tome na koji način gravitacija utiče na svetlost pojavila se tek 1915, kada Ajnštajn objavljuje svoju opštu relativnost. Pa čak i tada, proteći će još dugo pre no što bude shvaćeno šta sve proishodi iz ove teorije u slučaju masivnih zvezda.

Da bismo razumeli kako može nastati jedna crna rupa, potrebno je prethodno da se upoznamo sa životnim ciklusom jedne zvezde. Zvezda biva obrazovana onda kada velika količina gasa (poglavito vodonika) počinje da kolabira pod dejstvom vlastitog gravitacionog privlačenja. Kako se gas sažima, njegovi atomi se sve češće i sve većom brzinom međusobno sudaraju što dovodi do zagrevanja gasa. Konačno, gas postaje toliko topao da se vodonikovi atomi prilikom sudaranja više ne odbijaju jedan od drugoga, već srastaju, obrazujući helijum. Toplota oslobođena pri ovoj reakciji, koja nalikuje na kontrolisanu eksploziju vodonične bombe, dovodi do sijanja zvezde. Ova dodatna toplota takođe povećava pritisak gasa, sve dok on ne postane dovoljno visok da se javi kao protivteža gravitacionom privlačenju, što zaustavlja njegovo dalje sažimanje. Situacija pomalo podseća na onu sa balonom - postoji ravnoteža između pritiska unutrašnjeg vazduha, koji pokušava da dalje proširi balon, i napetosti gume, koja nastoji da smanji balon. Zvezda zadržava postojano stanje veoma dugo, sa toplotom iz nuklearnih reakcija u ravnoteži sa gravitacionim privlačenjem. Konačno, međutim, zvezda će istrošiti zalihe vodonika i ostalog nuklearnog goriva. Paradoksalno, što jedna zvezda na početku svog veka ima više goriva, to će ga ona brže istrošiti. Uzrok ovome je okolnost da što je zvezda masivnija, to ona mora biti toplija da bi uspostavila ravnotežu sa gravitacionim privlačenjem. A što je toplija, to će brže koristiti svoje gorivo. Naše Sunce po svoj prilici ima dovoljno goriva za narednih pet hiljada miliona godina, ali masivnije zvezde mogu da potroše svoje zalihe za



samo sto miliona godina, što je znatno kraće od veka Vaseljene. Kada zvezdi ponestane goriva, ona počinje da se hladi, pa tako i da se sažima. Ono što se tada može dogoditi sa njom prvi put je shvaćeno tek krajem dvadesetih godina ovog veka.

Godine 1928, mladi diplomac iz Indije Subramanijan Čandrusekar krenuo je na put u Englesku da bi u Kembridžu preduzeo izučavanja sa britanskim astronomom ser Arturom Edingtonom, stručnjakom za opštu relativnost. (Priča se da je, početkom dvadesetih godina, jedan novinar upitao Edingtona da li je tačno da samo tri čoveka na celom svetu shvataju opštu relativnost. Edington je malo zastao, pa odgovorio: 'Pokušavam da se setim ko bi mogao da bude treći.') Za vreme putovanja iz Indije, Čandrusekar je preduzeo da izračuna koliko bi jedna zvezda mogla da bude velika, a da se i dalje suprotstavi vlastitoj gravitaciji pošto je utrošila sve svoje gorivo. Zamisao se sastojala u sledećem: kada zvezda postane mala, čestice materije se veoma zbliže, tako da, prema Paulijevom načelu isključenja, moraju da imaju veoma različite brzine. Ovo ih nagoni da se udaljuju jedne od drugih, što za posledicu ima težnju zvezde da se raširi. Jedna zvezda može stoga zadržati stalan prečnik time što će uspostaviti ravnotežu između gravitacionog privlačenja i odbijanja koje proishodi iz načela isključenja, baš kao što je u prethodnom razdoblju toplota stajala kao protivteža gravitaciji.

Čandrusekar je, međutim, shvatio da postoji granica odbijanja što sledi iz načela isključenja. Teorija relativnosti nalaže da je najveća razlika u brzinama čestica materije neke zvezde brzina svetlosti. Ovo znači da bi, kada zvezda postane dovoljno gusta, odbijanje uzrokovano načelom isključenja bilo slabije od gravitacionog privlačenja. Čandrusekar je izračunao da hladna zvezda sa masom većom od jedne i po Sunčeve ne bi više bila kadra da se suprotstavi vlastitoj gravitaciji. (Ova masa je danas poznata kao Čandrusekarova granica.) Do sličnog otkrića došao je približno u isto vreme ruski naučnik Lav Davidovič Landau.

Odavde su sledile važne posledice po krajnju sudbinu masivnih zvezda. Ako je masa neke zvezde ispod Čandrusekarove granice, ona može da prestane da se sažima i da se ustali u završnom stanju koje se naziva 'beli patuljak', sa prečnikom od nekoliko hiljada milja i gustinom od više stotina tona po kubnom inču. Osnov postojanosti

belog patuljka jeste odbijanje između elektrona njegove materije, proisteklo iz načela isključenja. Zabeležili smo veliki broj ovakvih zvezda-belih patuljaka. Jedna od prvih koja je otkrivena bila je zvezda koja kruži oko Sirijusa, najsjajnijeg sunca na noćnom nebu.

Landau je istakao da postoji još jedno moguće završno stanje neke zvezde, takođe sa masom ograničenom na vrednost između jedne i dve Sunčeve, ali koje je znatno manje čak i od belog patuljka. Kod ovakvih zvezda, kao protivteža gravitaciji takođe bi se javilo odbijanje proisteklo iz načela isključenja, ali ne više između elektrona, već između neutrona i protona. Ove zvezde dobile su stoga naziv neutronske zvezde. One bi u prečniku imale tek desetak milja, dok bi im gustina iznosila na stotine miliona tona po kubnom inču. U vreme kada je prvobitno bila izložena pretpostavka o njihovom postojanju, nije bilo načina na koji su se mogle registrovati. Do njihovog stvarnog otkrića došlo je tek znatno kasnije.

Zvezde sa masama iznad Čandrasekarove granice, sa druge strane, suočavaju se sa jednim velikim problemom kada utroše svoje gorivo. U nekim slučajevima one mogu da eksplodiraju, te tako uspevaju da odbace dovoljno materije, čime smanjuju masu ispod rečene granice i na taj način izbegavaju katastrofalan gravitacioni kolaps; no, teško je poverovati da se ovo uvek događa, bez obzira na veličinu zvezde. Kako bi ona mogla da zna da treba da izgubi težinu? Pa čak i ako bi svaka zvezda uspeła da izgubi dovoljno mase da izbegne kolaps, šta bi se dogodilo ako biste dodavali novu masu nekom belom patuljku ili neutronske zvezdi, tako da oni na kraju ipak prekorače Čandrasekarovu granicu? Da li bi oni kolabirali do beskrajnje gustine? Edington je bio zapanjen ovom mogućnošću i odbio je da poveruje u Čandrasekarov nalaz. Smatrao je da je naprosto nemoguće da neka zvezda kolabira do razmera tačke. Isto mišljenje delila je većina naučnika: i sam Ajnštajn je objavio rad u kome je tvrdio da se zvezde ne bi smanjile do nultih razmera. Odbojno držanje drugih naučnika, a posebno Edingtona, Čandrasekarovog pređašnjeg učitelja i vodećeg autoriteta na polju ustrojstva zvezda, nagnalo je Čandrasekara da napusti rad na ovom području i da se usredsredi na druge astronomske probleme, kao što je kretanje zvezdanih jata. Kada mu je, međutim, pripala Nobelova nagrada 1983, bilo je to, bar delimično, za njegova rana izučavanja graničnih

masa hladnih zvezda.

On je pokazao da načelo isključenja ne može sprečiti kolabiranje jedne zvezde čija se masa nalazi iznad Čandrasekarove granice, ali problem razumevanja onoga što će se dogoditi sa takvom zvezdom, saglasno opštoj relativnosti, prvi je rešio mladi američki fizičar Robert Oppenheimer 1939. Iz njegovih nalaza, međutim, proishodilo je da neće biti nikakvih posmatračkih posledica koje bi se mogle registrovati teleskopima iz tog vremena. No, ubrzo je izbio drugi svetski rat i Oppenheimer se potpuno posvetio radu na projektu atomske bombe. Posle rata, problem gravitacionog kolapsa bio je uglavnom zaboravljen, budući da je većina naučnika postala usredsređena na ono što se zbiva u razmerama atoma i njegovog jezgra. Tokom šezdesetih godina, međutim, zamašno povećanje obima i dometa astronomskih posmatranja, nastalo zahvaljujući primeni moderne tehnologije, dovelo je do oživljenja zanimanja za makrokosmičke probleme astronomije i kosmologije. Više naučnika ponovo je otkrilo Oppenheimerov rad i krenulo dalje njegovim tragom. Oppenheimerovo pregalaštvo omogućilo nam je da dođemo do sledeće predstave o ovom problemu. Gravitaciono polje zvezde menja putanje svetlosnih zraka u prostorvremenu u odnosu na one kojima bi se ovi zraci kretali kada tu ne bi bilo zvezde. Svetlosne kupe, koje označavaju putanje kojima se u prostoru i vremenu kreću blesci svetlosti emitovani sa njihovih temena, bivaju blago povijeni unutra u blizini površine zvezde. Ovo se može videti kod povijanja svetlosti sa dalekih zvezda uočenog tokom pomračenja Sunca. Kako se zvezda sažima, gravitaciono polje na njenoj površini postaje jače i svetlosne kupe se još više povijaju unutra. To dodatno otežava svetlosti da se otisne sa zvezde, tako da ona izgleda zatamnjenija i crvenija posmatraču na većoj udaljenosti. Konačno, kada se zvezda smanji do određenog kritičnog prečnika, gravitaciono polje na površini postaje izuzetno snažno, a svetlosne kupe toliko povijene unutra da se svetlost uopšte više ne može otisnuti (Ilus. 6.1). Prema teoriji relativnosti, ništa nije brže od svetlosti. Stoga, kad svetlost nije u stanju da se otisne, onda ni bilo šta drugo nije za to kadro; gravitaciono polje privlači sve natrag ka površini. Postoji, dakle, jedan skup događaja, jedno područje prostorvremena odakle se ne može otisnuti ništa što bi stiglo do udaljenog posmatrača. Ovo

područje mi danas nazivamo crna rupa. Njegova granica dobila je naziv horizont događaja i podudara se sa putanjama svetlosnih zraka koji zamalo što nisu uspjeli da se otisnu iz crne rupe.

Da biste shvatili šta biste videli kada biste posmatrali kako neka zvezda kolabira i obrazuje crnu rupu, morate imati na umu da prema teoriji relativnosti ne postoji apsolutno vreme. Svaki posmatrač ima vlastitu meru vremena. Usled gravitacionog polja zvezde, vreme za nekoga na njoj bilo bi različito od vremena za nekoga ko je udaljen od nje. Zamislite jednog neustrašivog astronauta na površini kolabirajuće zvezde; on kolabira zajedno sa njom, upućujući pri tom po jedan signal svake sekunde, mereno njegovim časovnikom, ka matičnom kosmičkom brodu koji kruži oko zvezde. U nekom trenutku prema njegovom hronometru, recimo u 11:00, zvezda će se smanjiti ispod kritičnog prečnika na kome gravitaciono privlačenje postaje tako snažno da mu više ništa ne može umaći, te tako njegovi signali više neće stizati do broda. Kako se 11:00 približava, njegove kolege astronauti, koji posmatraju sa matičnog broda, ustanovili bi da razmak između naizmeničnih signala što ih on šalje postaje sve duži i duži, ali ovaj efekat bio bi veoma mali pre 10:59:59. Morali bi da čekaju samo nešto malo duže od jedne sekunde između astronautovog signala u 10:59:58 i onoga što ga je on uputio kada mu je časovnik pokazao 10:59:59, ali bi zato na signal u 11:00 mogli da čekaju celu večnost. Svetlosni talasi emitovani sa površine zvezde između 10:59:59 i 11:00, mereno astronautovim časovnikom, rasprostrli bi se na beskrajno dugo razdoblje, viđeno iz perspektive kosmičkog broda. Razmak između prispeća naizmeničnih talasa do kosmičkog broda postajao bi sve duži, te bi tako svetlost sa zvezde izgledala sve crvenija i slabija. Konačno, zvezda bi postala tako zatamnjena da se više uopšte ne bi mogla videti sa kosmičkog broda: sve što bi preostalo od nje bila bi crna rupa u prostoru. Zvezda bi, međutim, nastavila da vrši isti gravitacioni uticaj na kosmički brod, koji bi i dalje kružio oko crne rupe.

Ovaj scenario nije, međutim, sasvim realističan zbog sledećeg problema. Gravitacija postaje slabija što ste udaljeniji od zvezde, tako da bi sila teže koja deluje na stopala našeg astronauta uvek bila jača od one koja deluje na njegovu glavu. Ova razlika u gravitacionoj sili izdužila bi našeg astronauta kao kakav rezanac ili bi

ga raskomadala pre no što bi se zvezda sažela do kritičnog prečnika na kome nastaje horizont događaja! Mi, međutim, smatramo da postoje znatno veći objekti u Vaseljenu, kao što su središnja područja galaksija, koja takođe mogu podleći gravitacionom kolapsu i postati crne rupe; jedan astronaut na nekom od njih ne bi bio raskomadan pre nastanka crne rupe. Štaviše, on ne bi osetio ništa posebno dok bi se približavao kritičnom prečniku, pa bi čak prošao i tačku posle koje nema povratka, uopšte je ne primetivši. No, za samo nekoliko sati, kako područje bude nastavilo da kolabira, razlika u gravitacionom privlačenju na nivou njegove glave i nogu postala bi tako velika da bi on ipak bio raskomadan.

Izučavanja koja smo Rodžer Penrouz i ja obavili između 1965. i 1970. pokazala su da, saglasno opštoj relativnosti, u crnoj rupi mora postojati singularnost beskrajsne gustine i beskrajsne zakrivljenosti prostorvremena. Situacija prilično podseća na Veliki Prasak u početku vremena, osim što bi to bio kraj vremena za kolabirajuće telo i astronauta. U toj singularnosti otkazali bi zakoni nauke i naša sposobnost da predviđamo budućnost. Svaki posmatrač, međutim, koji bi ostao izvan crne rupe ne bi bio obuhvaćen ovim otkazivanjem mogućnosti predviđanja, zato što ni svetlost niti bilo koji drugi signal ne bi do njega mogli stići iz singularnosti. Ova izuzetna okolnost navela je Rodžera Penrouza da postavi hipotezu o kosmičkoj cenzuri, koja se može parafrazirati kao 'Bog se gnuša gole singularnosti'. Drugim rečima, singularnosti što ih stvara gravitacioni kolaps nastaju jedino na onim mestima, kao što su crne rupe, gde ih od spoljnjih pogleda savršeno skriva horizont događaja. Ova hipoteza poznata je i kao slaba kosmička cenzura: ona štiti posmatrače koji ostaju izvan crne rupe od posledica otkazivanja mogućnosti predviđanja, do čega dolazi u singularnosti, ali ništa ne čini za ubogog i nesrećnog astronauta koji upada u rupu.

Postoje izvesna rešenja jednačina opšte relativnosti u okviru kojih je moguće da naš astronaut vidi golu singularnost: on bi možda mogao da izbegne sudar sa singularnošću i da propadne kroz 'crvotočinu' u neko drugo područje Vaseljene. Ovo bi pružilo velike mogućnosti za putovanja kroz prostor i vreme, ali, na žalost, izgleda da su sva ta rešenja veoma nestabilna; i najmanji poremećaj, kao što je prisustvo nekog astronauta, mogao bi ih promeniti, tako da astronaut ne vidi

singularnost sve do sudara sa njom i okončanja svog vremena. Drugim rečima, singularnost bi uvek ležala u njegovoj budućnosti, a nikada u njegovoj prošlosti. Prema jakoj verziji hipoteze o kosmičkoj cenzuri, u jednom realističnom rešenju singularnosti će uvek ležati ili potpuno u budućnosti (kao singularnosti gravitacionog kolapsa) ili potpuno u prošlosti (kao Veliki Prasak). Postoje, međutim, i takve verzije hipoteze cenzure prema kojima je u blizini golih singularnosti možda moguće putovati u prošlost. I dok je ova okolnost zgodna za pisce naučne fantastike, iz nje proishodi da ničiji život više ne bi bio bezbedan: neko bi, naime, mogao da ode u prošlost i da vam tamo ubije oca ili majku pre no što ste vi uopšte bili začeti.

Horizont događaja, granica područja prostorvremena iz koga nije moguće pobeći, deluje u priličnoj meri kao membrana što optače crnu rupu, propusna samo sa jedne strane: tela, kao što su neoprezni astronauti, mogu da upadnu kroz horizont događaja u crnu rupu, ali ništa iz nje ne može izići natrag kroz horizont događaja. (Imajte na umu da je horizont događaja putanja u prostorvremenu svetlosti koja pokušava da se otisne iz crne rupe, a ništa nije u stanju da se kreće brže od svetlosti.) Za horizont događaja sasvim važe reči koje je Dante stavio na ulazu u pakao: 'Vi koji ulazite, napustite svaku nadu.' Sve što prođe i svi koji prođu granicu horizonta događaja uskoro će se obreti u području beskrajne gustine i kraja vremena.

Opšta relativnost predviđa da će teška tela koja se kreću izazvati emisije gravitacionih talasa, talasanja u zakrivljenosti prostora koja će se kretati brzinom svetlosti. Oni su slični svetlosnim talasima, koji predstavljaju talasanje elektromagnetnog polja, ali ih je znatno teže otkriti. Poput svetlosti, ovi talasi odnose energiju iz tela koja ih emituju. Na osnovu ovoga, očekivalo bi se da se sistem masivnih tela konačno ustali u stacionarnom stanju, zato što će emisije gravitacionih talasa odnositi energiju pri svakoj kretanju. (Stvar prilično nalikuje na bacanje plutače u vodu: u početku ona znatno oscilira gore-dole, ali kako joj talasi odnose energiju, konačno se smiruje u stacionarnom stanju.) Primera radi, kretanje Zemlje njenom orbitom oko Sunca proizvodi gravitacione talase. Posledica ovog gubitka energije trebalo bi da bude promena orbite Zemlje, tako da se ona sve više približava Suncu, da bi se konačno sudarila sa njim i tako

prešla u stacionarno stanje. Međutim, stopa gubitka energije u slučaju Zemlje i Sunca veoma je mala - dovoljna otprilike za rad jedne male električne grejalice. To znači da bi bilo potrebno približno hiljadu miliona miliona miliona godina da Zemlja zbog ovoga padne na Sunce, tako da nema neposrednog razloga za zabrinutost! Promena Zemljine orbite odveć je mala da bi se mogla registrovati, ali ovaj efekat ipak je zabeležen tokom poslednjih godina u sistemu koji nosi oznaku PSR 1913+16 (PSR označava 'pulsar', jedan poseban tip neutronske zvezde koji emituje pravilne impulse radio-talasa). U sistemu se nalaze dve neutronske zvezde koje orbitiraju jedna oko druge, a energija koju gube emitovanjem gravitacionih talasa nagoni ih da se međusobno stalno spiralno približavaju.

Za vreme gravitacionog kolapsa jedne zvezde koja postaje crna rupa sva kretanja bila bi znatno brža, tako da bi i daleko viša bila stopa kojom se odliva energija. Stoga ne bi proteklo dugo pre no što se ona upostoji u stacionarnom stanju. Kako bi izgledalo to završno stanje? Može se pretpostaviti da bi ono zavisilo od niza složenih svojstava zvezde obrazovanih pri njenom nastanku - ne samo od mase i brzine okretanja, već i od različitih gustina u raznim delovima zvezde, kao i od složenih kretanja gasa u njoj. A ako su crne rupe šarolike kao i objekti čijim su kolabiranjem one nastale, onda bi bilo veoma teško doći do nekih opštih predviđanja o crnim rupama.

Godine 1967, međutim, Verner Izrael, kanadski naučnik (koji je rođen u Berlinu, odrastao u Južnoj Africi, a doktorirao u Irskoj), doveo je do prave revolucije u izučavanju crnih rupa. On je pokazao da, saobrazno opštoj relativnosti, nerotirajuće crne rupe moraju biti veoma jednostavne; bile bi savršeno loptaste, a veličina bi im zavisila jedino od mase, što znači da bi bilo koje dve crne rupe sa istom masom bile istovetne. One bi se, zapravo, mogle opisati jednim posebnim rešenjem Ajnštajnovih jednačina, do koga je došao Karl Švarcšild neposredno po otkriću opšte relativnosti. U početku su mnogi fizičari, računajući tu i samog Izraela, smatrali da crne rupe, budući da moraju biti savršeno loptaste, mogu nastati kolabiranjem jedino nekog savršeno loptastog tela. Shodno tome, prilikom kolabiranja stvarnih zvezda - koje nikada nisu savršeno loptaste - mogla bi da nastane samo gola singularnost.

Javilo se, međutim, jedno drugačije tumačenje rezultata do kojih je

Izrael došao, a njegovi glavni zagovornici postali su Rodžer Penrouz i Džon Viler. Oni su smatrali da bi brza kretanja proistekla iz kolabiranja zvezde značila da bi je emitovanje gravitacionih talasa učinilo još loptastijom, tako da bi, u času kada bi dospela u stacionarno stanje, postala savršeno loptasta. Prema ovom gledištu, međutim, svaka nerotirajuća zvezde, bez obzira na složenost njenog oblika i unutrašnjeg ustrojstva, okončala bi gravitaciono kolabiranje kao savršeno loptasta crna rupa, čija bi veličina zavisila jedino od njene mase. Potonja izračunavanja išla su u prilog ovom stanovištu i ono je uskoro postalo opšte prihvaćeno.

Ishodi Izraelovih izučavanja odnosili su se samo na slučaj crnih rupa nastalih iz nerotirajućih tela. Godine 1963, novozelandski fizičar Roj Ker došao je do niza rešenja jednačina opšte relativnosti koja su opisivala rotirajuće crne rupe. Ove 'Kerove' crne rupe okreću se stalnom brzinom, pri čemu im veličina i oblik zavise jedino od mase i brzine rotiranja. Ukoliko je rotacija ravna nuli, crna rupa je savršeno okrugla i rešenje se poklapa sa Švarcšildovim rešenjem. Ako se, pak, okretanje razlikuje od nule, crna rupa se izbočuje blizu polutara (baš kao što je to slučaj sa Zemljom ili Suncem takođe usled rotiranja); što je okretanje brže, to je i ova izbočenost naglašenija. Stoga, da bi se Izraelovim rezultatima obuhvatila i rotirajuća tela, bilo je pretpostavljeno da bi svako rotirajuće telo koje se kolabiranjem pretvorilo u crnu rupu konačno dospelo u stacionarno stanje, opisano u Kerovom rešenju.

Godine 1970. jedan moj kolega i student-istraživač sa Kembridža, Brendon Karter, načinio je prvi korak u pravcu dokazivanja ove pretpostavke. On je pokazao da, pod uslovom da stacionarna rotirajuća crna rupa ima osu simetrije, poput čigre koja se vrti, njena veličina i oblik zavisili bi jedino od mase i brzine rotiranja. Potom sam ja, 1971, dokazao da svaka stacionarna rotirajuća crna rupa uistinu ima ovu simetrije. Konačno, 1973, Dejvid Robinson sa londonskog koledža Kings pokazao je, koristeći se Karterovim i mojim rezultatima, da je pretpostavka tačna: ovakva crna rupa odista se poklapala sa Kerovim rešenjem. Prema tome, posle gravitacionog kolapsa jedna crna rupa mora dospeti u stanje u kome bi se okretala, ali ne i pulsirala. Štaviše, njena veličina i oblik zavisili bi jedino od mase i brzine okretanja, a ne od prirode tela čijim je



kolabiranjem nastala. Ovaj rezultat postao je poznat u obliku maksime: 'Crna rupa nema dlaka.' Teorema 'bez dlaka' od velikog je praktičnog značaja, zato što sasvim ograničava moguće tipove crnih rupa. Postalo je stoga moguće načiniti veoma detaljne modele objekata koji bi mogli da sadrže crne rupe, a potom uporediti predviđanja modela sa nalazima posmatranja. Odatle je takođe proishodilo da veoma velika količina informacija o telu koje je kolabiralo mora biti izgubljena u trenutku nastanka crne rupe, zato što potom sve ono što možemo da izmerimo kod tela jesu njegova masa i brzina rotiranja. Značaj ovoga pokazaće se u narednom poglavlju.

Crne rupe predstavljaju jedan od sasvim malog broja slučajeva u povesti nauke kada je neka teorija bila veoma detaljno razvijena kao matematički model pre no što se došlo do bilo kakvih posmatračkih nalaza da je ona valjana. Štaviše, ovo je korišćeno kao glavni argument protivnika zamisli o crnim rupama: kako se može verovati u objekte za čije su postojanje jedini dokaz proračuni koji se temelje na sumnjivoj teoriji opšte relativnosti? Godine 1963, međutim, Marten Šmit, astronom iz kalifornijske opservatorije Palomar, izmerio je crveni pomak jednog slabog zvezdolikog objekta koji se nalazio u pravcu izvora radio-talasa sa oznakom 3C273 (posredi je izvor pod brojem 273 u trećem kembridžskom katalogu radio-izvora). Ustanovio je da je ovaj pomak preveliki da bi njegov uzročnik moglo biti gravitaciono polje: da je posredi bio gravitacioni crveni pomak, objekt bi morao da bude toliko masivan i tako blizu nama da bi nesumnjivo izazivao poremećaje orbita planeta u Sunčevom sistemu. Ovo je ukazalo na mogućnost da bi uzrok rečenog crvenog pomaka moglo biti širenje Vaseljene, što je, opet, značilo da se dotični objekat nalazi na ogromnoj udaljenosti. A da bi bio vidljiv na tako ogromnoj udaljenosti, morao je biti veoma sjajan, odnosno morao je da emituje ogromnu količinu energije. Jedini zamislivi mehanizam za stvaranje ovako velikih količina energije bilo je gravitaciono kolabiranje ne samo jedne zvezde, već celog središnjeg područja neke galaksije. Potom je otkriven veliki broj drugih, sličnih 'kvazistelarnih objekata', ili kvazara, koji su svi imali velike crvene pomake. Ali svi su oni veoma udaljeni, tako da je veoma teško posmatranjem doći do čvrstog dokaza o tome da su tu

posredi crne rupe.

Do novih nalaza koji su išli u prilog postojanju crnih rupa došlo se 1967, kada je jedna studentkinja-istraživač sa Kembridža, Džoselin Bel, otkrila na nebu objekte koji emituju pravilne impulse radio-talasa. U prvi mah, Belova i njen mentor, Entoni Hjuiš, pomislili su da su uspostavili kontakt sa nekom vanzemaljskom civilizacijom u Galaksiji! I odista, sećam se da su na seminaru na kome su obznanili svoje otkriće prva četiri ovakva izvora označili skraćenicama LGM 1-4, pri čemu je LGM akronim od 'Little Green Man' ('mali zeleni čovek'). Konačno, međutim, oni i svi ostali došli su do manje romantičnog zaključka da su svi objekti, koji su dobili naziv pulsari, u stvari, rotirajuće neutronske zvezde koje emituju impulse radio-talasa usled složenog međudejstva između njihovih magnetnih polja i okolne materije. Bila je to loša vest za pisce kosmičkih vesterna, ali veoma prijatna za nekolicinu nas koji smo u to vreme verovali u crne rupe: bio je to prvi pozitivan nalaz o postojanju neutronskih zvezda. Jedna neutronska zvezda ima prečnik od desetak milja, što je samo za nekoliko puta veće od kritičnog prečnika na kome jedna zvezda postaje crna rupa. Ako jedna zvezda može da kolabira do tako malih razmera, nije neosnovano očekivati da druge zvezde mogu da kolabiraju do još manjih veličina i da tako postanu crne rupe.

Kako možemo očekivati da otkrijemo crnu rupu kada ona, po definiciji, ne emituje svetlost? Situacija pomalo nalikuje na traganje za crnom mačkom u tamnom podrumu. Srećom, postoji način. Kao što je to pokazao Džon Mičel u svom pionirskom radu iz 1783, crna rupa i dalje vrši gravitacioni uticaj na obližnje objekte. Astronomi su registrovali mnogo sistema kod kojih dve zvezde kruže jedna oko druge, međusobno privlačene gravitacijom. Takođe su uočili sisteme kod kojih postoji samo jedna vidljiva zvezda što kruži oko nekog nevidljivog pratioca. Ne može se, razume se, odmah zaključiti da je ovaj pratilac crna rupa: možda je posredi naprosto zvezda koja je odveć slaba da bi se videla. Međutim, neki od ovih sistema, kao što je onaj koji je dobio naziv Labud X-1 (Ilus. 6.2), takođe su veoma snažni izvori rendgenskog zračenja. Najverovatnije objašnjenje ovog fenomena jeste da materija nekako biva skidana sa površine vidljive zvezde. Kako pada na nevidljivog pratioca, ona se kreće spiralno

(poput vode koja otiče iz kade) i postaje veoma topla, emitujući rendgensko zračenje (Ilus. 6.3). Da bi ovaj mehanizam djelovao, nevidljivi objekat mora biti veoma mali, poput belog patuljka, neutronske zvezde ili crne rupe. Na osnovu uočene orbite vidljive zvezde može se odrediti najmanja moguća masa nevidljivog objekta. U slučaju Labuda X-1, ova masa šestostruko nadmaša Sunčevu, što je, prema Čandrasekarovom rezultatu, odveć velika vrednost da bi nevidljivi objekat bio beli patuljak. Posredi je prevelika masa i za neutronske zvezde. Kako izgleda, u pitanju mora biti crna rupa.

Postoje, doduše, i drugi modeli kojima se objašnjava Labud X-1, a koji ne uključuju crnu rupu, ali svi su oni prilično nategnuti. Po svemu sudeći, crna rupa predstavlja jedino uistinu prirodno objašnjenje posmatračkih nalaza. No, uprkos svemu tome, ja sam se opkladio sa Kipom Tornom iz Kalifornijskog instituta za tehnologiju da Labud X-1 ipak ne sadrži crnu rupu! To je za mene svojevrsno osiguranje. Uložio sam silan trud u crne rupe, koji bi sav postao uzaludan ukoliko bi se ispostavilo da one, u stvari, ne postoje. Ali u tom slučaju našao bih utehu u okolnosti da sam dobio opkladu, koja bi mi donela četvorogodišnju pretplatu na časopis Private Eye. Ako se, pak, pokaže da crne rupe postoje, Kip će dobiti jednogodišnju pretplatu na Penthouse. Kada smo sklopili ovu opkladu, 1975, bili smo osamdeset odsto sigurni da je Labud X-1 crna rupa. Rekao bih da danas naša sigurnost dostiže oko 95 odsto, ali tek treba videti ko je dobio opkladu.

Danas takođe raspoložemo nalazima o nekoliko drugih crnih rupa u sistemima sličnim Labudu X-1 u našoj Galaksiji, kao i u dve susedne galaksije koje se nazivaju Magelanovi oblaci. Broj crnih rupa, međutim, gotovo je sigurno znatno veći; u dugoj povesti Vaseljene mnoge zvezde mora da su izgorele sve svoje nuklearno gorivo, da bi potom kolabirale. Nije čak isključeno da je broj crnih rupa veći od broja vidljivih zvezda, koji samo u našoj Galaksiji iznosi oko sto hiljada miliona. Dodatno gravitaciono privlačenje ovako velikog broja crnih rupa moglo bi da bude objašnjenje činjenice da se naša Galaksija okreće sadašnjom brzinom: masa vidljivih zvezda nedovoljna je za tako veliku brzinu. Takođe raspoložemo izvesnim nalazima da postoji jedna znatno veća crna rupa, sa masom koja iznosi oko stotinu hiljada Sunčevih, u središtu naše Galaksije.

Zvezde u Galaksiji koje se odveć približe ovoj crnoj rupi raskomadaće razlika u snazi gravitacionog privlačenja na bližoj i udaljenijoj strani. Njihovi ostaci, kao i gas koji je odbačen sa drugih zvezda, počće da padaju ka crnoj rupi. Kao i u slučaju Labuda X-1, gas će stati da se spiralno sunovraća i da se zagreva, premda ne u istoj meri. On neće postati dovoljno topao da emituje rendgensko zračenje, ali bi mogao da bude objašnjenje veoma zbijenog izvora radio-talasa i infracrvenog zračenja koji su registrovani u središtu Galaksije.

Smatra se da slične, premda još veće crne rupe, sa masama koje oko sto miliona puta premašuju Sunčevu, postoje u središtima kvazara. Materija koja pada u tako supermasivne crne rupe obrazovala bi jedini dovoljno snažan izvor energije kojim bi se mogla objasniti ogromna količina zračenja što je emituju ovi objekti. Kako se ova materija spiralno spušta u crnu rupu, ona bi je nagnala da počne da se okreće u istom pravcu, što bi za posledicu imalo nastajanje magnetnog polja sličnog onome na Zemlji. Materija koja se sunovraća tvorila bi u blizini crne rupe čestice sa veoma visokom energijom. Magnetno polje bilo bi tako snažno da bi fokusiralo ove čestice u mlazove koji bi bili izbacivani duž ose rotacije crne rupe, odnosno u pravcu njenog severnog i južnog pola. Ovakvi mlazevi uistinu su uočeni kod izvesnog broja galaksija i kvazara.

Može se takođe razmotriti mogućnost postojanja crnih rupa sa masama znatno manjim od Sunčeve. Ovakve crne rupe ne bi mogle da nastanu pod dejstvom gravitacionog kolapsa, zato što im se mase nalaze ispod Čandrasekarove granice: zvezde ovako male mase mogu da se suprotstave sili teže čak i onda kada su utrošile svoje nuklearno gorivo. Crne rupe sa malom masom mogu da nastanu jedino onda ako je materija sabijena do ogromnih gustina veoma velikim spoljnim pritiscima. Ovakvi uslovi mogu da nastanu u izuzetno velikoj vodoničnoj bombi: fizičar Džon Viler izračunao je jednom da ako bi se iz svih okeana na Zemlji uzela sva teška voda, mogla bi se napraviti vodonična bomba koja bi u toj meri sabila materiju u središtu da bi tu nastala crna rupa. (Razume se, niko ne bi preostao kao očevidac!) Praktičnija mogućnost jeste da su takve crne rupe sa malom masom nastale pri visokim temperaturama i pritiscima veoma rane Vaseljene. Crne rupe mogle su nastati jedino

ako rana Vaseljena nije bila savršeno ravnomerna i jednoobrazna, zato što se jedino neko malo područje sa gustinom većom od prosečne moglo sabiti na ovaj način da se tu obrazuje crna rupa. A mi znamo da su morale postojati ovakve nepravilnosti, jer bi inače materija u Vaseljenu i dalje bila savršeno jednoobrazno razmeštena, umesto da postane okupljena u zvezde i galaksije.

Pitanje da li bi nepravilnosti neophodne za nastanak zvezda i galaksija dovele i do obrazovanja značajnijeg broja 'praiskopskih' crnih rupa očigledno zavisi od tačnih uslova koji su vladali u ranoj Vaseljenu. Stoga, kada bismo mogli da ustanovimo koliko praiskopskih crnih rupa ima sada, izuzetno bismo obogatili naše znanje o veoma ranim razdobljima Vaseljene. Praiskopske crne rupe sa masama iznad hiljadu miliona tona (masa neke velike planine) mogle bi se otkriti jedino posredstvom njihovog gravitacionog uticaja na drugu, vidljivu materiju ili na širenje Vaseljene. Kako ćemo, međutim, videti u narednom poglavlju, crne rupe nisu, zapravo, stvarno crne: one se sjaje poput usijanog tela, a što su manje, to im je sjaj snažniji. I tako, paradoksalno, može se pokazati da je lakše otkriti manje crne rupe od onih velikih.

## 7. CRNE RUPE NISU TAKO CRNE

Pre 1970. moja izučavanja opšte relativnosti bila su usredsređena poglavito na pitanje da li je postojala singularnost Velikog Praska. Međutim, jedne večeri u novembru te godine, nedugo po rođenju moje kćeri Lusi, počeo sam da razmišljam o crnim rupama dok sam se spremao za počinak. Zbog moje invalidnosti, odlaženje s večeri u postelju prilično dugo traje, tako da sam imao vremena na pretek. U to vreme nije postojala tačna definicija o tome koje tačke prostorvremena leže unutar crne rupe, a koje izvan nje. Već sam razmotrio sa Rodžerom Penrouzom zamisao o definisanju crnih rupa kao niza događaja iz kojih nije moguće pobeći na veliku udaljenost, što sada predstavlja opšte prihvaćenu definiciju. Ovo znači da granicu crne rupe, horizont događaja, obrazuju u prostorvremenu putanje svetlosnih zraka koji zamalo što nisu uspeli da se otisnu iz crne rupe, ostavši zauvek na njenom rubu (Ilus. 7.1). Ovo pomalo podseća na bežanje od policije: uspevate nekako da budete na korak ispred nje, ali ne i da je se otarasite!

Najednom sam shvatio da se putanje ovih svetlosnih zraka nikada ne mogu približiti jedna drugoj. Ako bi do toga došlo, one bi na kraju morale da se sretnu. A to bi bilo kao da naletite na nekog drugog ko takođe beži od policije, ali u suprotnom smeru, tako da biste obojica bili uhvaćeni! (Ili, u ovom slučaju, pali u crnu rupu.) Ukoliko bi, međutim, crna rupa progutala ove svetlosne zrake, onda oni ne bi mogli biti na njenoj granici. Prema tome, putanje svetlosnih zraka na horizontu događaja uvek moraju ići uporedo jedna sa drugom ili se međusobno udaljavati. Ovo se može predočiti na još jedan način: zamislite da je horizont događaja, granica crne rupe, ivica neke senke - senke neumitnog usuda. Ako osmotrite senku koju stvara neki izvor na velikoj udaljenosti, kakav je Sunce, zapazićete da se zraci svetlosti na ivicama ne približuju jedni drugima.

Ako zraci svetlosti koji obrazuju horizont događaja, granicu crne rupe, nikada ne mogu da se približe jedni drugima, područje horizonta događaja može da ostane isto ili da se povećava sa vremenom, ali nikada se ne može smanjiti, zato što bi to značilo da bi bar neki zraci svetlosti na granici morali da se približe jedni

drugima. U stvari, ovo područje bi se povećavalo kad god bi materija ili zračenje dospeli u crnu rupu (Ilus. 7.2). Isto tako, ako bi se dve crne rupe sudarile i spojile, obrazujući jedinstvenu crnu rupu, područje horizonta događaja te nove crne rupe bilo bi veće od zbira ili jednako zbiri područja horizonta događaja prvobitnih crnih rupa (Ilus. 7.3). Ovo svojstvo nesmanjivanja područja horizonta događaja postavlja značajno ograničenje mogućem ponašanju crnih rupa. Otkriće do koga sam došao toliko me je uzбудilo da nisam mnogo spavao te noći. Narednog dana pozvao sam Rodžera Penrouza. On se saglasio sa mnom. Mislim, zapravo, da je on već podozrevao ovo svojstvo područja horizonta događaja. On je, međutim, koristio jednu malo drugačiju definiciju crne rupe. Ono što nije shvatio bilo je da će granice crne rupe prema obema teorijama biti iste, pa tako i njihova područja, pod uslovom da je crna rupa dospela u stanje u kome se neće menjati sa vremenom.

Ovakvo ponašanje crne rupe, čije se područje nije moglo smanjiti, veoma je podsećalo na ponašanje jedne veličine iz fizike koja se naziva entropija i kojom se meri stepen nereda nekog sistema. Činjenica da će se nered samo povećati ako se stvari prepuste samima sebi predstavlja stvar svakodnevnog iskustva. (Potrebno je samo prestati sa opravkama oko kuće, pa da ovo odmah postane jasno!) Moguće je stvoriti red iz nereda (može se, na primer, obojiti kuća), ali to nalaže ulaganje napora ili energije, te tako smanjuje količinu raspoložive uređene energije.

Tačan iskaz ove zamisli poznat je kao drugi zakon termodinamike. Prema ovom zakonu, entropija nekog izdvojenog sistema uvek se povećava, a kada se dva takva sistema spoje, entropija novog sistema veća je od zbira entropija pojedinačnih sistema. Primera radi, razmotrimo slučaj sistema molekula gasa u nekoj kutiji. Ovi molekuli mogu se zamisliti kao male bilijarske kugle koje se neprekidno međusobno sudaraju i odbijaju od zidova kutije. Što je viša temperatura gasa, to se molekuli brže kreću, te se tako i češće i silovitije sudaraju sa zidovima kutije, pa je i veći pritisak sa usmerenjem ka spolja na ove zidove. Zamislimo da su u početku molekuli nekom pregradom ograničeni samo na levu stranu kutije. Ukoliko se ova pregrada ukloni, molekuli će ispoljiti težnju da se rašire i rasprostru na obe polovine kutije. U nekom poznijem

vremenu oni mogu, igrom slučaja, svi da se nađu u desnoj polovini ili natrag u levoj, ali je nesravnjivo verovatnije da će se u obe polovine naći približno isti broj. Ovo stanje je manje sređeno, ili nesređenije od prvobitnog stanja u kome su se svi molekuli nalazili na jednoj polovini. Stoga se kaže da se entropija gasa povećala. Slično tome, zamislimo da u početku imamo dve kutije, od kojih jedna sadrži molekule kiseonika, a druga molekule azota. Ako se dve kutije spoje i ukloni zid koji ih razdvaja, molekuli kiseonika i azota počće da se mešaju. U neko poznije vreme najverovatnije stanje bila bi prilično jednoobrazna mešavina molekula kiseonika i azota u obe kutije. Ovo stanje bilo bi manje sređeno, te bi stoga imalo i veću entropiju, od početnog stanja dve zasebne kutije.

Drugi zakon termodinamike ima prilično različit status od ostalih zakona nauke, kao što je, na primer, Njutnov zakon gravitacije, zato što on ne važi uvek, već samo u velikoj većini slučajeva. Verovatnoća da će se svi molekuli gasa u našoj prvoj kutiji naći u jednoj njenoj polovini u neko poznije vreme iznosi jedan prema mnogo miliona miliona, ali se to ipak može dogoditi. Kada je, međutim, posredi crna rupa, postoji jedan znatno lakši način da se naruši drugi zakon: samo ubacite u nju malo materije sa puno entropije, kakva je kutija sa gasom. Ukupna entropija izvan crne rupe će se smanjiti. Može se, razume se, i dalje reći da se ukupna entropija, računajući tu i entropiju u crnoj rupi, nije smanjila - ali kako nema načina da se zaviri u crnu rupu, ne možemo ni da ustanovimo kojom se entropijom odlikuje materija u njoj. Bilo bi stoga zgodno kada bi postojalo neko svojstvo crne rupe po kome bi posmatrač izvan nje mogli da ustanove kolika joj je entropija i koje bi se povećalo kad god bi materija što nosi entropiju pala u crnu rupu. Pošavši od prethodno opisanog otkrića, prema kome se područje horizonta događaja povećava kad god nova materija dospe u crnu rupu, jedan student-istraživač sa Prinstona, po imenu Džejkob Bekenstajn, izložio je zamisao da područje horizonta događaja predstavlja meru entropije crne rupe. Kad materija koja nosi entropiju padne u crnu rupu, povećava se područje njenog horizonta događaja, tako da se nikada ne smanjuje zbir entropije materije izvan crnih rupa i unutar područja horizonta događaja.

Ova zamisao kao da je sprečavala da u većini situacija dođe do



narušenja drugog zakona termodinamike. Postojala je, međutim, jedna kobna pogreška. Ako, naime, crna rupa ima entropiju, onda ona mora imati i temperaturu. Ali telo sa nekom posebnom temperaturom mora emitovati zračenje nekom određenom stopom. Iz uobičajenog iskustva se zna da ako se žarač zagreje u vatri, on će početi da sjaji crvenim usijanjem i da odašilje zračenje, ali i tela na nižoj temperaturi takođe emituju zračenje; no, ono se normalno ne uočava, zato što je posredi sasvim mala količina. Ovo zračenje je neophodno da bi se sprečilo narušavanje drugog zakona. Crne rupe, dakle, moraju da odašilju zračenje. Ali prema samoj njihovoj definiciji, crne rupe su objekti koji ne mogu ništa da emituju. Izgledalo je stoga da područje horizonta događaja neke crne rupe ne može da bude smatrano merom njene entropije. Godine 1972. objavio sam jedan rad sa Brendonom Karterom i američkim kolegom Džimom Bardinom u kome smo istakli da iako ima mnogo sličnosti između entropije i područja horizonta događaja, postoji, kako izgleda, ova nepremostiva poteškoća. Moram priznati da me je na pisanje ovog rada delimično podstakla ljutnja na Bekenstajna koji je, smatrao sam, zloupotrebio moje otkriće o povećanju područja horizonta događaja. Ispostavilo se, međutim, na kraju da je on u osnovi bio u pravu, premda na način koji zacemento ni sam nije očekivao.

Septembra 1973, prilikom posete Moskvi, razgovarao sam o crnim rupama sa dvojicom vodećih sovjetskih stručnjaka, Jakovom Zeldovičem i Aleksandrom Starobinskim. Oni su me uverili da, prema načelu neodređenosti kvantne mehanike, rotirajuće crne rupe treba da stvaraju i odašilju čestice. Njihovi argumenti izgledali su mi prihvatljivi u fizikalnom pogledu, ali mi se nije dopao matematički način na koji su izračunali ovo emitovanje. Latio sam se stoga posla da dođem do boljeg matematičkog postupka, koji sam opisao na jednom neformalnom seminaru u Oksfordu krajem novembra 1973. U to vreme još nisam obavio proračune tačnog obima emitovanja. Očekivao sam jedino da otkrijem zračenje iz rotirajućih crnih rupa koje su predvideli Zeldovič i Starobinski. Međutim, kada sam najzad obavio proračune, ustanovio sam, na moje iznenađenje i ljutnju, da i nerotirajuće crne rupe treba, kako izgleda, da stvaraju i odašilju čestice postojanom stopom. U prvi mah sam pomislio da ovo

emitovanje ukazuje na to da jedna od aproksimacija koje sam koristio nije bila valjana. Pobojavao sam se da bi Bekenstajn, ukoliko bi to otkrio, iskoristio ovu okolnost kao novi argument u prilog svojim zamislima o entropiji crnih rupa, koje mi se i dalje nisu dopadale. No, što sam više razmišljao o celoj stvari, to mi je više izgledalo da su aproksimacije ipak na mestu. Ali ono što me je konačno uverilo da su emitovanja stvarna bila je činjenica da je spektar odaslanih čestica bio upravo onakav kakav bi emitovalo neko telo u stanju usijanja, kao i da crne rupe odašilju čestice upravo onom stopom koja je neophodna da bi se sprečilo narušenje drugog zakona. Posle toga, drugi fizičari ponovili su ove proračune u čitavom nizu različitih oblika. Svi su oni potvrdili da crna rupa treba da emituje čestice i zračenje kao da je posredi telo u stanju usijanja sa temperaturom koja zavisi jedino od mase crne rupe: što je masa veća, to je temperatura niža.

Kako je moguće da izgleda da crna rupa odašilje čestice kada nam je dobro poznato da se ne može otisnuti ništa što se nalazi ispod horizonta događaja? Odgovor glasi, govori nam kvantna teorija, da čestice ne potiču iz crne rupe, već iz 'praznog' prostora neposredno iznad njenog horizonta događaja! Ovo se može razumeti na sledeći način: ono što mi podrazumevamo pod 'praznim' prostorom ne može biti potpuno prazno, zato što bi to značilo da bi vrednost svih polja, kao što su gravitaciono ili elektromagnetno, morala da bude ravna nuli. Međutim, vrednost jednog polja i stopa njegove promene s vremenom odgovaraju položaju i brzini neke čestice: iz načela neodređenosti proishodi da što se tačnije zna jedno od ovih svojstava, to se nepouzdanije zna drugo. Prema tome, u praznom prostoru polje nikada ne može biti ravno nuli, zato što bi u tom slučaju bile sasvim određene i njegova vrednost (nula) i stopa promene (nula). Mora postojati izvesna minimalna količina neodređenosti, ili kvantnih fluktuacija, u vrednosti polja. Ove fluktuacije mogu se predočiti kao parovi čestica svetlosti ili gravitacije, koje u jednom trenutku izgledaju zajedno, da bi se potom razdvojile, a zatim ponovo spojile i međusobno potrle. Posredi su virtuelne čestice slične česticama koje nose gravitacionu silu Sunca: za razliku od stvarnih čestica, one se ne mogu neposredno registrovati detektorom čestica. Moguće je, međutim, izmeriti njihova

posredna dejstva, kao što su male promene u energiji elektrona što orbitiraju u atomu, pri čemu će se pokazati da će se ona izuzetno tačno podudariti sa teorijskim predviđanjima. Načelo neodređenosti takođe predviđa da će postojati slični virtuelni parovi čestica materije kao što su elektroni ili kvarkovi. U ovom slučaju, međutim, jedan član para biće čestica, a drugi antičestica (antičestice svetlosti i gravitacije iste su kao i čestice).

Budući da se energija ne može stvoriti ni iz čega, jedan od članova para čestica-antičestica imaće pozitivnu energiju, dok će drugi član imati negativnu energiju. Onome sa negativnom energijom suđeno je da bude kratkovečna virtuelna čestica, zato što stvarne čestice uvek imaju pozitivnu enegiju pod normalnim okolnostima. On, dakle, mora potražiti svog partnera i potrti se sa njim. Međutim, jedna stvarna čestica u blizini nekog masivnog tela ima manje energije nego što bi imala kada bi se nalazila podalje od njega, zato što troši energiju na suprotstavljanje gravitacionom privlačenju tog tela. Normalno, energija čestice još je pozitivna, ali gravitaciono polje u crnoj rupi tako je snažno da tu čak i stvarna čestica može imati negativnu energiju. Stoga je moguće da virtuelna čestica sa negativnom energijom, koja upadne u crnu rupu, postane stvarna čestica ili antičestica. U ovom slučaju ona više ne mora da se potre sa svojim partnerom. Njen napušten partner može i sam da dospe u crnu rupu. Ili, budući da ima pozitivnu energiju, takođe može da pobegne iz blizine crne rupe kao stvarna čestica ili antičestica (Illus. 7.4). Udaljenom posmatraču izgledalo bi da je ovu česticu emitovala crna rupa. Što je crna rupa manja, to je kraća razdaljina koju čestica sa negativnom energijom mora da pređe pre no što postane stvarna čestica, te je tako veći i obim emitovanja, kao i prividna temperatura crne rupe.

Kao protivteža pozitivnoj energiji emitovanog zračenja javio bi se priliv čestica sa negativnom energijom u crnu rupu. Prema Ajnštajnovoj jednačini,  $E = mc^2$  (gde je  $E$  energija,  $m$  masa, a  $c$  brzina svetlosti), energija je upravno srazmerna masi. Priliv negativne energije u crnu rupu dovodi stoga do smanjenja njene mase. Kako crna rupa gubi masu, područje njenog horizonta događaja postaje manje, ali ovo smanjenje entropije crne rupe dobija više nego punu nadoknadu u entropiji emitovanog zračenja, tako da

nikada ne dolazi do narušavanja drugog zakona.

Štaviše, što je manja masa crne rupe, to je viša njena temperatura. Prema tome, kako crna rupa gubi masu, dolazi do povećanja njene temperature i stope emitovanja, tako da ona brže gubi masu. Nije sasvim jasno šta se događa kada masa crne rupe postane izuzetno mala, ali najrazložnija pretpostavka jeste da će potpuno nestati u fantastičnom završnom odlivu emitovanja, ravnom eksploziji mnogo miliona vodoničnih bombi.

Jedna crna rupa s masom koja svega nekoliko puta premaša Sunčevu imala bi temperaturu od samo jednog desetomilionitog dela stepena iznad apsolutne nule. Ovo je znatno manje od temperature mikrotalasnog zračenja koje ispunjava Vaseljenu (oko 2,7 stepeni iznad apsolutne nule), tako da će ovakve crne rupe emitovati još manje nego što apsorbuju. Ukoliko je Vaseljeni suđeno da se zauvek širi, temperatura mikrotalasnog zračenja konačno će pasti ispod one što je ima jedna ovakva crna rupa koja će tada početi da gubi masu. Ali čak i onda temperatura će joj biti tako niska da će biti potrebno oko milion miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona godina (jedinica iza koje se pruža niz od šezdeset šest nula) da bi potpuno isparila. Ovo je znatno duže od starosti Vaseljene, koja dostiže svega deset ili dvadeset hiljada miliona godina (jedinica ili dvojka iza kojih se pruža niz od deset nula). Sa druge strane, kao što je pomenuto u šestom poglavlju, možda postoje praiskonske crne rupe sa znatno manjom masom koje su nastale kolabiranjem nepravilnosti u sasvim ranom razdoblju Vaseljene. Ovakve crne rupe imale bi znatno višu temperaturu i odašiljale bi zračenje daleko većom stopom. Praiskonska crna rupa sa početnom masom od hiljadu miliona tona imala bi vek približno jednak starosti Vaseljene. Praiskonske crne rupe sa početnim masama ispod ove vrednosti već bi bile potpuno isparile, dok bi one sa malo većom masom i dalje emitovale rendgensko i gama-zračenje. Ovo rendgensko i gama-zračenje slično je svetlosnim talasima, ali ima znatno kraću talasnu dužinu. Ovakve rupe teško da zaslužuju pridev crne: one su, zapravo, u stanju belog usijanja i odašilju energiju obimom od oko deset hiljada megavata.

Ovakva crna rupa mogla bi da napaja deset velikih elektrana kada bismo samo mogli da ukrotimo njenu energiju. Ovo bi, međutim, bilo

prilično teško: crna rupa imala bi masu planine sabijenu u zapreminu manju od jednog milion milionitog dela inča, što odgovara veličini jezgra atoma! Ako biste na površini Zemlje imali jednu takvu crnu rupu, ne bi bilo načina da se spreči njeno propadanje do središta naše planete. Ona bi jedno vreme oscilirala kroz Zemlju, da bi se konačno zaustavila u središtu. Prema tome, jedino mesto gde se može postaviti ovakva crna rupa, čija bi se emitovana energija mogla korisno upotrebiti, bila bi orbita oko naše planete - a jedini način na koji se ona može dopremiti tamo bio bi da se privuče tako što bi ispred nje bila vučena neka velika masa, baš kao što magarac ide za šargarepom koja je postavljena ispred njega.

Ali čak i ako ne budemo u stanju da ukrotimo energetska emitovanja iz tih praiskopskih crnih rupa, kakvi su izgledi da ih registrujemo? Mogli bismo se dati u potragu za gama-zračenjem koje praiskopske crne rupe emituju tokom najvećeg dela svog veka. Iako bi zračenje sa većine njih bilo veoma slabo zbog velike udaljenosti, ukupan zbir sa svih njih možda bi se mogao otkriti. Mi uistinu beležimo takav fon gama-zračenja: ilustracija 7.5 pokazuje kako se registrovana snaga menja sa promenom učestalosti (brojem talasa u sekundi). Ovaj fon je, međutim, mogao biti, a verovatno i jeste stvoren drugim procesima, a ne praiskopskim crnim rupama. Iscrtana linija na ilustraciji 7.5 pokazuje kako bi snaga trebalo da se menja sa učestalošću kod gama-zračenja što ga odašilju praiskopske crne rupe, ukoliko bi ih u proseku bilo tri stotine po kubnoj svetlosnoj godini. Može se stoga reći da zabeležen fon gama-zračenja ne pruža nikakav pozitivan dokaz o postojanju praiskopskih crnih rupa, ali nam zato govori da ih u proseku ne može biti više od tri stotine po kubnoj svetlosnoj godini u Vaseljenu. Oдавde proishodi da praiskopske crne rupe mogu da sačinjavaju najviše jedan milioniti deo ukupne materije u Vaseljenu.

Budući da su praiskopske crne rupe tako retke, može izgledati neverovatno da će se jedna od njih naći dovoljno blizu nas kako bismo je mogli zabeležiti kao pojedinačni izvor gama-zračenja. Ali s obzirom na to da bi gravitacija privlačila praiskopske crne rupe prema bilo kojoj materiji, njih bi trebalo da bude prilično u galaksijama i oko njih. Prema tome, iako nam fon gama-zračenja govori da ne može biti više od tri stotine praiskopskih crnih rupa po

kubnoj svetlosnoj godini u proseku, on nam ništa ne kaže o tome koliko ih može biti u našoj Galaksiji. Ako su one tu, recimo, milion puta zastupljenije, onda bi se crna rupa najbliža nama verovatno nalazila na udaljenosti od oko hiljadu miliona kilometara, što približno odgovara razdaljini do Plutona, najudaljenije poznate planete. Na toj razdaljini i dalje bi bilo veoma teško otkriti postojanu emisiju neke crne rupe, čak i ako bi njena snaga iznosila deset hiljada megavata. Da bi se registrovala jedna praiskonska crna rupa potrebno je otkriti više kvanta gama-zračenja koji dolaze iz istog pravca tokom nekog dužeg razdoblja, kao što je jedna sedmica. U protivnom, posredi bi mogao biti naprosto deo fona zračenja. Ali Plankovo kvantno načelo govori nam da svaki kvant gama-zračenja ima veoma visoku energiju, zato što se ovo zračenje odlikuje izuzetno visokom učestalošću, tako da ne bi bilo potrebno mnogo kvanta da bi se odaslalo čak deset hiljada megavata. A da bi se registrovao taj mali broj kvanta koji dolazi sa razdaljine ravne Plutonovoj bio bi potreban veći detektor gama-zračenja od svih koji su do sada sazdani. Štaviše, taj detektor trebalo bi da se nalazi u kosmosu, zato što gama-zračenje ne može da prodre kroz atmosferu.

Razume se, ukoliko bi jedna crna rupa koja se nalazi na Plutonovoj udaljenosti došla do kraja svog veka i eksplodirala, bilo bi lako zabeležiti ovaj završni emisioni prasak. Ali ako crna rupa emituje poslednjih deset ili dvadeset hiljada miliona godina, izgledi da ona stigne do kraja svog veka tokom narednih nekoliko godina, umesto negde tokom više miliona godina u prošlosti ili budućnosti uistinu su sasvim mali! Prema tome, da biste došli u izvesnu priliku da vidite neku eksploziju crne rupe pre no što vam isteknu sredstva za istraživanje, morali biste da pronađete način da registrujete ovakve eksplozije na razdaljini od oko jedne svetlosne godine. I dalje biste bili suočeni sa problemima obezbeđenja velikog detektora gama-zračenja kojim biste zabeležili gama-kvante odaslate prilikom eksplozije. U ovom slučaju, međutim, ne bi bilo neophodno utvrditi da svi kvanti dolaze iz istog pravca: bilo bi dovoljno uočiti da svi stižu u veoma kratkom razmaku, pa na osnovu toga sa prilično pouzdanosti znati da potiču iz iste eksplozije.

Jedan detektor gama-zračenja koji bi mogao da bude kadar da registruje praiskonske crne rupe jeste sveskolika Zemljina atmosfera.

(U svakom slučaju, malo je verovatno da smo mi u stanju da sazdamo veći detektor!) Kada se jedan visokoenergetski kvant gama-zračenja sudari sa atomima u našoj atmosferi, on stvara parove elektrona i pozitrona (antielektrona). Kada se ovi, pak, sudare sa drugim atomima, oni stvaraju nove parove elektrona i pozitrona, tako da tada nastaje ono što se naziva elektronski pljusak. Krajnji ishod jeste jedan oblik svetlosti poznat kao Čerenkovljevo zračenje. Eksplozivne emisije gama-zračenja mogle bi se, dakle, otkriti po bleskovima svetlosti na noćnom nebu. Razume se, postoje i druge pojave koje takođe izazivaju bleskove na nebu, kao što su munje i odrazi Sunčeve svetlosti sa satelita koji padaju i raznih otpadaka na orbiti. Eksplozivne emisije gama-zračenja mogle bi se razlikovati od ovakvih dejstava tako što bi se bleskovi uočili istovremeno sa dve ili više prilično udaljenih tačaka. Istraživanja ove vrste preduzela su dvojica naučnika iz Dablina, Nil Porter i Trevor Viks, koji su za tu svrhu koristili teleskope u Arizoni. Oni su zabeležili izvestan broj bleskova, ali nijedan od njih nije se bez ostatka mogao pripisati eksplozivnim emisijama iz praiskopskih crnih rupa.

Čak i ako traganje za praiskopskim crnim rupama ne urodi plodom, kao što bi to moglo da se dogodi, ipak bismo došli do veoma značajnih informacija o sasvim ranim razdobljima Vaseljene. Ako je rana Vaseljena bila haotična ili nepravilna, ili ako je pritisak materije bio nizak, očekivalo bi se da će nastati znatno više praiskopskih crnih rupa nego što na to ukazuju naša dosadašnja posmatranja fona gama-zračenja. Jedino ako je rana Vaseljena bila veoma ravnomerna i jednoobrazna, sa visokim pritiskom, moglo bi se objasniti odsustvo praiskopskih crnih rupa koje bi se mogle registrovati.

Zamisao o zračenju iz crnih rupa bio je prvi primer predviđanja koje je na suštinski način zavisilo od obe velike teorije ovog stoleća, opšte relativnosti i kvantne mehanike. U početku je ono izazvalo mnoga protivljenja, zato što je ugrožavalo vladajuće stanovište: 'Kako crna rupa može bilo šta da emituje?' Kada sam prvi put obznanio rezultate mojih proračuna na jednoj konferenciji u Raderford-Epltonovoj laboratoriji blizu Oksforda, suočio sam se sa opštom nevericom. Pri kraju mog izlaganja predsedavajući skupa, Džon G. Tejlor iz koledža Kings, u Londonu, izjavio je da su sve to

besmislice. Čak je o tome objavio i jedan rad. Međutim, na kraju, većina fizičara, računajući tu i Džona Tejlora, došla je do zaključka da crne rupe moraju zračiti poput tela u stanju usijanja, ukoliko se naše ostale zamisli o opštoj relativnosti i kvantnoj mehanici isparavne. Prema tome, iako još nismo uspjeli da pronađemo neku praiskonsku crnu rupu, postoji prilično visok stepen saglasnosti oko toga da će, ako do ovog otkrića jednom dođe, ta crna rupa zacelo emitovati obimno gama-zračenje i rendgensko zračenje.

Postojanje zračenja iz crnih rupa ukazuje na to da gravitacioni kolaps nije konačan i ireverzibilan kao što smo jednom smatrali. Ako bi neki astronaut pao u crnu rupu, njena masa bi se povećala, ali bi na kraju energetska protivvrednost te mase bila vraćena Vaseljenu u obliku zračenja. Prema tome, u izvesnom smislu, astronaut bi bio 'recikliran'. Bila bi to, međutim, ne baš najidealnija vrsta besmrtnosti, budući da bi svaka lična predstava o vremenu kod astronauta bila okončana okolnošću da bi on munjevito bio raskomadana u unutrašnjosti crne rupe! Čak bi se i tipovi čestica koje bi crna rupa na kraju emitovala u osnovi razlikovali od onih koji su sačinjavali astronauta: jedino svojstvo astronauta koje bi preživelo bila bi njegova masa ili energija.

Aproksimacije koje sam ja koristio da bih došao do zaključka o emisijama iz crnih rupa sasvim su valjane u svim slučajevima kada crna rupa ima masu veću od delića jednog grama. Međutim, one zakazuju na kraju veka crne rupe kada joj masa postaje veoma mala. Kako izgleda, najverovatniji ishod jeste da će crna rupa naprosto iščeznuti, bar iz našeg područja Vaseljene, ponevši sa sobom astronauta i sve singularnosti koje se u njoj mogu nalaziti, ako uopšte ima neke. Bio je ovo prvi nagoveštaj da bi kvantna mehanika mogla da ukloni singularnosti koje je predvidela opšta relativnost. Međutim, metodi koje smo ja i ostali fizičari koristili 1974. nisu bili kadri da pruže odgovor na pitanja da li će se singularnosti javiti u kvantnoj gravitaciji. Od 1975. počeo sam da radim na jednom novom, celovitijem pristupu kvantnoj gravitaciji koji se temeljio na zamisli Ričarda Fajnmena o zbiru po istorijama. O odgovorima na koje ukazuje ovaj pristup u pogledu nastanka i sudbine Vaseljene i onoga što se nalazi u njoj, računajući tu i astronaute, biće reči u naredna dva poglavlja. Videćemo da, iako načelo neodređenosti



ograničava tačnost naših predviđanja, ono bi u isto vreme moglo da otkloni temeljnu nepredvidljivost koja važi za prostorvremensku singularnost.

## 8. NASTANAK I SUDBINA VASELJENE

Uzeta izdvojeno, Ajnštajnova opšta teorija relativnosti predviđa da je prostorvreme počelo singularnošću Velikog Praska i da će se okončati ili singularnošću Velikog Sažimanja (ako cela Vaseljena bude kolabirala), ili singularnošću u unutrašnjosti neke crne rupe (ako dođe do kolabiranja nekog lokalnog područja, kao što je jedna zvezda). Materija koja bi upala u crnu rupu bila bi uništena u singularnosti, a spolja bi nastavio da dejstvuje jedino gravitacioni uticaj njene mase. Sa druge strane, kada se uzmu u obzir kvantna dejstva, masa ili energija konačno bi se, kako izgleda, vratile u ostatak Vaseljene, a crna rupa, zajedno sa eventualnom singularnošću u njoj, isparila bi i konačno iščezla. Može li kvantna mehanika da ima podjednako dramatičan uticaj na singularnosti Velikog Praska i Velikog Sažimanja? Šta se uistinu događa tokom najranijih ili najpoznijih razdoblja Vaseljene, kada su gravitaciona polja tako snažna da se kvantna dejstva više ne mogu zanemariti? Ima li Vaseljena uopšte početak ili kraj? A ako ih ima, kakvi su oni?

Tokom sedamdesetih godina, ja sam se poglavito bavio izučavanjem crnih rupa, ali 1981. moje zanimanje za pitanje nastanka i sudbine Vaseljene ponovo je oživelo pošto sam prisustvovao jednoj konferenciji o kosmologiji koju su u Vatikanu priredili jezuiti. Katolička crkva napravila je veliku grešku sa Galilejem kada je pokušala da ospori jedan naučni zakon, tvrdeći da Sunce kruži oko Zemlje. Sada, mnogo stoleća kasnije, odlučila je da pozove izvestan broj stručnjaka koji bi joj pružili savete o kosmologiji. Na kraju konferencije učesnici su pozvani na audijenciju kod pape. On nam je kazao da je sasvim na mestu izučavati razvoj Vaseljene posle Velikog Praska, ali ne bi trebalo da pokušamo da dokučimo sam Veliki Prask, budući da je to bio trenutak Postanja, pa samim tim i delo Boga. Bilo mi je tada milo što on nije bio upoznat sa predmetom mog izlaganja na upravo okončanoj konferenciji: ja sam, naime, govorio o mogućnosti da je prostorvreme konačno, ali da nema granica, što znači da nema ni početka, odnosno trenutka Postanja. Nisam želeo da me snađe isti usud kao i Galileja, sa kojim osećam veliku srodnost, delimično i zbog toga što sam rođen istoga dana kada se napunilo tri stotine

godina od njegove smrti!

Da bi se rastumačile zamisli kojima smo ja i drugi fizičari pokušali da objasnimo način na koji bi kvantna mehanika mogla da utiče na nastanak i sudbinu Vaseljene, neophodno je najpre steći uvid u opšte prihvaćenu povest Vaseljene saglasno modelu koji je poznat pod nazivom 'topli Veliki Prask'. Ovo podrazumeva da se Vaseljena opisuje jednim Fridmanovim modelom sve do samog Velikog Praska. Kod ovakvih modela osobeno je to da se prilikom širenja Vaseljene materija i zračenje u njoj hlade. (Kada se veličina Vaseljene udvostruči, temperatura joj se prepolovi.) Budući da je temperatura naprosto mera prosečne energije ili brzine čestica, ovo hlađenje Vaseljene trebalo bi da bude od izuzetno važnog uticaja na materiju u njoj. Pri veoma visokim temperaturama, čestice bi se kretale tako brzo da ne bi moglo doći ni do kakvog privlačenja među njima pod dejstvom nuklearne ili elektromagnetne sile, ali sa hlađenjem one bi stale da privlače jedne druge i da se spajaju. Štaviše, od temperature zavise čak i tipovi čestica koji postoje u Vaseljenu. Pri dovoljno visokim temperaturama čestice imaju toliko energije da bi pri svakom njihovom sudaru nastalo mnoštvo različitih parova čestica-antičestica. Iako bi se neke od ovih čestica potrle prilikom sudara sa antičesticama, one bi ipak nastajale brže nego što bi nestajale. Pri nižim temperaturama, međutim, kada čestice koje se sudaraju imaju manje energije, dolazilo bi do sporijeg nastajanja parova čestica-antičestica, tako da bi potiranje postalo brže od stvaranja čestica.

Smatra se da su pri samom Velikom Prasku razmere Vaseljene bile ravne nuli, te da je njena toplota tu bila beskonačna. Ali kako se Vaseljena širila, temperatura zračenja je opadala. Jednu sekundu posle Velikog Praska ona je pala za oko deset hiljada miliona stepeni. Ova temperatura je za oko hiljadu puta veća od one koja vlada u središtu Sunca, ali ovako visoke vrednosti dostižu se prilikom eksplozija vodoničnih bombi. U tom trenutku Vaseljena se sastojala poglavito od fotona, elektrona i neutrona (izuzetno lakih čestica na koje dejstvuje jedino slaba sila gravitacije) i njihovih antičestica, kao i od nešto protona i neutrona. Kako je Vaseljena nastavila da se širi, a temperatura da opada, stopa kojom su prilikom sudaranja nastajali parovi elektron-antielektron spustila se ispod

stope kojom su oni bili uništavani potiranjem. Ovo je dovelo do međusobnog potiranja većine elektrona i antielektrona, pri čemu je preostalo sasvim malo elektrona. Neutrini i antineutrini ne bi se, međutim, međusobno potirali, zato što ove čestice sasvim slabo djeluju međusobno i sa drugim česticama. One bi, dakle, trebale da postoje i danas. Ukoliko bismo ih registrovali, bila bi to valjana potvrda ispravnosti ove slike veoma toplog ranog razdoblja Vaseljene. Na žalost, njihove energije sada bi bile odveć niske da bismo neposredno mogli da ih registrujemo. Ako, pak, neutrini nisu bez mase, već imaju malu vlastitu masu, kako to proishodi iz jednog nepotvrđenog opita izvršenog 1981. u Sovjetskom Savezu, možda bismo bili u stanju da ih posredno registrujemo: oni bi mogli da predstavljaju jedan oblik 'tamne materije', o kojoj je ranije bilo reči, sa dovoljno gravitacionog privlačenja da se zaustavi širenje Vaseljene i dovede do njenog kolabiranja.

Oko stotinu sekundi posle Velikog Praska temperatura je pala na oko hiljadu miliona stepeni, što odgovara onoj u unutrašnjosti najtoplijih zvezda. Pri ovoj temperaturi, protoni i neutroni više nemaju dovoljno energije da se otrgnu privlačnom dejstvu jake nuklearne sile, tako da tu počinju da se spajaju, proizvodeći jezgra atoma deuterijuma (teški vodonik), koja sadrže po jedan proton i jedan neutron. Deuterijumova jezgra potom se spajaju sa novim protonima i neutronima - obrazujući jezgra helijuma, koja sadrže po dva protona i dva neutrona - kao i male količine dva teža elementa, litijuma i berilijuma. Može se izračunati da se u modelu toplog Velikog Praska oko četvrtina protona i neutrona pretvara u helijumova jezgra, uz malu količinu teškog vodonika i drugih elemenata. Preostali neutroni raspali bi se na protone, koji predstavljaju jezgra atoma običnog vodonika.

Sliku toplog ranog razdoblja Vaseljene prvi je izložio naučnik Džordž Gamov u znamenitom radu koji je 1948. objavio u koautorstvu sa svojim studentom Ralfom Alferom. Gamov je imao smisla za humor - ubedio je nuklearnog fizičara Hansa Betea da se takođe potpiše pod ovaj rad, kako bi njegovi autori bili Alfer, Bete i Gamov, kao prva tri slova grčkog alfabeta, alfa, beta i gama: više nego prikladno za rad o početku Vaseljene! U tom tekstu oni su izložili znamenito predviđanje da bi zračenje iz veoma toplih ranih razdoblja Vaseljene trebalo da

postoji još i danas sa temperaturom od samo tri stepena iznad apsolutne nule (-273 stepena Celzijusa). Penzijas i Vilson otkrili su upravo ovo zračenje 1965. U vreme kada su Alfer, Bete i Gamov objavili svoj rad, nije mnogo bilo poznato o nuklearnim reakcijama protona i neutrona. Predviđanja vezana za razmere raznih elemenata u ranoj Vaseljini bila su stoga netačna, ali ovi proračuni ponovljeni su u svetlosti novih saznanja i sada se sasvim slažu sa nalazima posmatranja. Štaviše, veoma je teško objasniti na neki drugi način zašto ima toliko mnogo helijuma u Vaseljini. Stoga smo prilično sigurni da smo došli do ispravne slike, bar sve do jedne sekunde posle Velikog Praska.

Samo nekoliko časova posle Velikog Praska okončalo se obrazovanje helijuma i ostalih elemenata. Nakon toga, tokom približno milion godina, Vaseljina se samo širila, bez nekih značajnijih događaja u njoj. Konačno, kada je temperatura pala na samo nekoliko hiljada stepeni, a elektroni i jezgra nisu više imali dovoljno energije da se suprotstave elektromagnetnom privlačenju koje je dejstvovalo među njima, oni su stali da se povezuju, obrazujući atome. Vaseljina kao celina nastavila je da se širi i hladi, ali u područjima koja su bila malo gušća od proseka to širenje bilo je usporeno dodatnim gravitacionim privlačenjem. Konačno, ovo privlačenje obustavilo bi širenje u pojedinim oblastima i nagnalo ih da počnu da kolabiraju. Prilikom kolabiranja, gravitaciono privlačenje materije izvan ovih područja moglo ih je navesti da počnu lagano da se okreću. Kako se kolabirajuća oblast smanjivala, ona se brže okretala iz istog razloga iz koga se klizači na ledu brže okreću ako privuku ruke uz telo. Konačno, kada se područje dovoljno smanjilo, njegovo okretanje postalo je prikladno brzo da se javi kao protivteža gravitacionom privlačenju i na taj način su rođene diskolike rotirajuće galaksije. Druga područja, koja se nisu zavrtela, postala su objekti koji su dobili naziv eliptične galaksije. U njima bi područje prestalo da kolabira zato što bi pojedinačni delovi galaksije postojano orbitirali oko svog središta, ali sama galaksija ne bi imala vlastitu rotaciju.

Sa prolaskom vremena, vodonikov i helijumov gas u galaksijama razbijao bi se na manje oblake koji bi kolabirali pod dejstvom vlastite gravitacije. Kako bi se oni sažimali, a atomi u njima međusobno sudarali, temperatura gasa bi rasla, sve dok on konačno ne bi

postao dovoljno topao da otpočne nuklearne reakcije fuzije. Pri ovim reakcijama vodonik bi bio pretvaran u helijum, a toplota koja bi se oslobađala dovodila bi do povećanja pritiska, koji bi sprečio dalje sažimanje oblaka. Oni bi se postojano zadržali u tom stanju veoma dugo kao zvezde slične našem Suncu, sagorevajući vodonik u helijum i zračeći energiju oslobođenu pri tom u vidu toplote i svetlosti. Masivnije zvezde morale su biti toplije kako bi mogle da pruže protivtežu snažnijem gravitacionom privlačenju, tako da su se njihove reakcije nuklearne fuzije odigravale znatno brže, pa su im i zalihe vodonika bile utrošene za samo stotinak miliona godina. One bi se onda malo sažele, a kako bi se zbog ovoga dodatno zagrejale, počele bi da pretvaraju helijum u teže elemente kao što su ugljenik i kiseonik. Tom prilikom, međutim, ne bi bilo oslobođeno mnogo energije, te bi tako došlo do krize, kao što je bilo opisano u poglavlju o crnim rupama. Ono što se potom zbiva nije sasvim jasno, ali po svoj prilici središnja područja zvezde kolabiraju do nekog veoma gustog stanja kao što je neutronska zvezda ili crna rupa. Spoljna područja zvezde mogu ponekad da se rasprsnu u zastrašujućoj eksploziji koja se naziva supernova i koja po sjaju nadmašuje sve zvezde u datoj galaksiji. Neki teži elementi koji su nastali pred kraj veka zvezde odlaze tada u galaktički gas, gde postaju sirovina narednog pokolenja zvezda. Naše Sunce sadrži oko dva odsto ovih težih elemenata, zato što je ono zvezda drugog ili trećeg pokolenja, nastala pre otprilike pet hiljada miliona godina iz oblaka rotirajućeg gasa koji je sadržao ostatke ranijih supernova. Najveći deo gasa u tom oblaku otišao je na obrazovanje Sunca ili bio razvejan, ali jedna manja količina težih elemenata predstavljala je građu iz koje su nastala tela što sada kruže oko Sunca kao planete, među kojima je i naša Zemlja.

Zemlja je u početku bila veoma topla i bez atmosfere. Tokom potonjeg vremena ona se ohladila i stekla atmosferu od gasova što su ih ispuštale stene. Mi ne bismo mogli da opstanemo u toj ranoj atmosferi. Umesto kiseonika u njoj je bilo mnogo drugih gasova koji su za nas otrovni, kao što su vodoniksulfid (gas koji pokvarenim jajima daje osoben neprijatan miris). Postoje, međutim, drugi, primitivni oblici života koji mogu da opstanu i napreduju u tim uslovima. Smatra se da su oni nastali u okeanima verovatno kao

ishod slučajnog povezivanja atoma u veća ustrojstva koja se nazivaju makromolekuli i koja su u stanju da povezuju druge atome u okeanima u slične sklopove. Na taj način oni bi se reprodukovali i umnožavali. U pojedinim slučajevima javile bi se greške pri reprodukciji. Većina grešaka bila je takva da novi makromolekuli nisu više mogli da se reprodukuju i konačno su bili uništeni. Međutim, mali broj grešaka doveo je do nastanka novih makromolekula koji su se još bolje reprodukovali. Oni su stoga bili u preimućstvu i stali su da zamenjuju prvobitne makromolekule. Tako je započeo proces evolucije koji je doveo do razvoja sve složenijih organizama kadrih za samoreprodukciju. Prvi primitivni oblici života trošili su razni materijal, uključujući tu i vodoniksulfid, a oslobađali su kiseonik. Ovo je postepeno dovelo do promene sastava atmosfere ka njenom sadašnjem obliku i omogućilo nastanak viših oblika života kao što su ribe, gmizavci, sisari i, na kraju, ljudska rasa.

Ova slika Vaseljene koja je u početku bila veoma topla, da bi se prilikom potonjeg širenja hladila, u saglasnosti je sa svim posmatračkim nalazima kojima danas raspolažemo. No, ona ipak ostavlja bez odgovora izvestan broj značajnih pitanja:

1. Zašto je rana Vaseljena bila tako topla?
2. Zašto je Vaseljena u makrokosmičkim razmerama tako jednoobrazna? Zašto izgleda ista u svim tačkama prostora i u svim pravcima? A posebno zašto je temperatura mikrotalasnog pozadinskog zračenja bezmalo ista ma u kom pravcu pogledali? Situacija pomalo nalikuje onoj kada većem broju studenata na ispitu postavite isto pitanje. Ako svi oni daju potpuno isti odgovor, možete prilično biti sigurni da su bili u vezi. No, u prethodno opisanom modelu od Velikog Praska nije proteklo dovoljno vremena da svetlost prevali rastojanje od jednog udaljenog područja do drugog, čak i ako su ta područja bila međusobno blizu u ranoj Vaseljeni. Prema teoriji relativnosti, ako svetlost ne može da stigne od jednog područja do drugog, onda za to nije kadra ni bilo koja druga informacija. Prema tome, nije bilo načina na koji su različita područja rane Vaseljene mogla steći istu temperaturu, osim ako iz nekog zasad neobjašnjelog razloga to nije bio slučaj od samog početka.
3. Zašto je Vaseljena od početka imala gotovo kritičnu stopu širenja,

što razdvaja modele u kojima dolazi do kolabiranja od onih kod kojih se širenje nastavlja u beskonačnost, tako da se i sada, deset hiljada miliona godina kasnije, ona još širi tom istom stopom? Da je stopa širenja jednu sekundu posle Velikog Praska bila manja makar i za jedan sto hiljada milioniti milioniti deo, Vaseljena bi kolabirala pre no što bi uopšte dosegla sadašnje razmere.

4. Uprkos činjenici da je Vaseljena tako jednoobrazna i homogena u makrokosmičkim razmerama, ona sadrži lokalne nepravilnosti, kao što su zvezde i galaksije. Za njih se smatra da su nastale iz malih razlika u gustini pojedinih područja rane Vaseljene. Odakle vuku koren ove fluktuacije gustine?

Uzeta zasebno, opšta teorija relativnosti ne može da objasni ove osobenosti niti da pruži odgovor na ova pitanja, zato što iz nje proishodi da je Vaseljena počela kao beskrajno gusta u singularnosti Velikog Praska. A u toj singularnosti više ne važe ni opšta relativnost, ni ostali zakoni fizike: ne može se, dakle, predvideti šta će proizići iz singularnosti. Kao što je ranije objašnjeno, ovo znači da se iz teorije sasvim mogu isključiti Veliki Prask i sve što mu je prethodilo, zato što oni ne mogu ni na koji način uticati na ono što mi registrujemo. U tom slučaju, prostorvreme bi imalo granicu - početak u trenutku Velikog Praska.

Nauka je, kako izgleda, otkrila niz zakona koji nam, u okviru granica što ih postavlja načelo neodređenosti, govore o tome kako će se Vaseljena razvijati sa vremenom, ukoliko znamo njeno stanje u nekom trenutku. Možda je te zakone u početku propisao Bog, ali je, po svemu sudeći, on potom pustio da se Vaseljena razvija po njima, odnosno više nije uticao na nju. Ali kako je odabrao početno stanje ili konfiguraciju Vaseljene? Kakvi su bili 'granični uslovi' na početku vremena?

Jedan mogući odgovor jeste tvrdnja da je Bog odabrao početnu konfiguraciju Vaseljene iz razloga koje mi nikako ne možemo razumeti. Ovako nešto svakako bi bilo u okviru mogućnosti jednog svemoćnog bića, ali ako je ono počelo Vaseljenu na jedan tako nepojaman način, zašto je onda pustilo da se ona razvija saglasno zakonima koje smo u stanju da shvatimo? Cela istorija nauke predstavljala je postepeno uviđanje činjenice da se zbivanja ne



dogadaju na proizvoljan način, već da odražavaju izvestan red koji počiva u njihovoj osnovi, iza koga možda stoji, a možda i ne stoji božanski upliv. Sasvim je, onda, prirodno pretpostaviti da ovaj red važi ne samo za zakone, nego i za uslove na granici prostorvremena koji određuje početno stanje Vaseljene. Moguće je zamisliti veliki broj modela Vaseljene sa različitim početnim stanjima, koji se svi pokoravaju zakonima nauke, ali mora postojati neko načelo koje će odrediti pravo početno stanje, pa stoga i model koji će predstavljati našu Vaseljenu.

Jedna takva mogućnost jeste ono što smo nazvali haotični granični uslovi. Iz njih proishodi ili da je Vaseljena prostorno beskrajna ili da ima beskrajno mnogo Vaseljena. U okviru haotičnih graničnih uslova verovatnoća da se pronađe neko posebno područje prostora u nekoj datoj konfiguraciji neposredno po Velikom Prasku istovetna je, u izvesnom smislu, verovatnoći da se ono pronađe u bilo kojoj drugoj konfiguraciji: početno stanje Vaseljene odabrano je sasvim nasumično. Ovo bi značilo da je rana Vaseljena po svoj prilici bila veoma haotična i nepravilna, zato što postoji znatno više haotičnih i nesređenih konfiguracija Vaseljene nego što ima onih pravilnih i sređenih. (Ako je svaka konfiguracija podjednako verovatna, onda je sva prilika da je Vaseljena počela u nekom haotičnom i nesređenom stanju jednostavno zato što ovakvih stanja ima izuzetno mnogo.) Teško je, međutim, razabrati kako je iz ovako haotičnih početnih uslova mogla nastati jedna Vaseljena koja je u makrokosmičkim razmerama tako ravnomerna i pravilna kao što je to naša danas. Takođe bi se očekivalo da fluktuacije gustine u ovom modelu dovode do obrazovanja znatno više praiskonskih crnih rupa nego što ih mi registrujemo na osnovu fona gama-zračenja.

Ukoliko je Vaseljena uistinu prostorno beskonačna, ili ako ima beskonačno mnogo Vaseljena, onda bi po svoj prilici negde postojala velika područja koja su u početku bila ravnomerna i jednoobrazna. Ovo pomalo podseća na onu poznatu situaciju sa čoporom majmuna koji udaraju po dirkama pisaće mašine - daleko najveći deo onoga što oni napišu bilo bi smeće, ali pukom igrom slučaja neko bi od njih mogao otkucati i jedan Šekspirov sonet. Slično tome, u slučaju Vaseljene, da li je moguće da mi obitavamo u jednom području koje je sasvim slučajno ravnomerno i jednoobrazno? Na prvi pogled, ovo

deluje krajnje neverovatno, zato što bi broj haotičnih i nepravilnih područja znatno nadmašio ovakve ravnomerne oblasti. Pretpostavimo, međutim, da jedino u ravnomernim područjima dolazi do nastajanja galaksija i zvezda, kao i da se jedino tu javljaju pravi uslovi za razvoj tako složenih samoreplicirajućih organizama kao što smo to mi koji smo kadri da sebi postavimo sledeće pitanje: 'Zašto je Vaseljena tako ravnomerna?' Ovo je primer primene onoga što je poznato kao antropičko načelo, koje se može parafrazirati kao: 'Vaseljenu vidimo onakvu kakva jeste zato što postojimo.'

Postoje dve verzije antropičkog načela, slaba i jaka. Prema slabom antropičkom načelu, u Vaseljeni koja je prostorno i/ili vremenski ogromna ili beskonačna stvoriće se uslovi neophodni za razvoj inteligentnog života jedino u određenim područjima koja su prostorno i vremenski ograničena. Inteligentna bića iz tih područja ne bi, dakle, trebalo da budu iznenađena kada uoče da oblast Vaseljene u kojoj se nalaze zadovoljava uslove nužne za njihovo postojanje. To pomalo nalikuje na situaciju kada neki bogataš živi u imućnom susedstvu, te tako nema nikakvu predstavu o siromaštvu.

Jedan od primera primene slabog antropičkog načela jeste pokušaj 'objašnjenja' zašto se Veliki Prasak odigrao pre otprilike deset hiljada miliona godina - približno je, naime, toliko bilo potrebno da se razviju inteligentna bića. Kao što je prethodno rastumačeno, najpre je trebalo da nastane rano pokolenje zvezda. Kod ovih zvezda došlo je do pretvaranja jednog dela prvobitnog vodonika i helijuma u elemente kao što su ugljenik i kiseonik, iz kojih smo mi sazdana. Te zvezde su potom eksplodirale kao supernove, a iz njihovih ostataka nastale su druge zvezde i planete, među njima i one što sačinjavaju naš Sunčev sistem, koji je star pet hiljada miliona godina. Prvih hiljadu ili dve hiljade miliona godina postojanja Zemlje, naša planeta bila je odveć topla da bi na njoj moglo nastati bilo šta složeno. Tokom preostalih približno tri hiljade miliona godina trajao je spori proces bilološke evolucije, koji je vodio od najjednostavnijih organizama do bića kadrih da mere vreme unazad sve do Velikog Praska.

Nema mnogo onih koji će osporavati valjanost ili korisnost slabog antropičkog načela. Ima, međutim, autora koji idu i znatno dalje, predlažući jaku verziju ovog načela. Prema ovoj teoriji, postoji ili

mnoštvo različitih Vaseljena ili mnoštvo različitih područja jedne Vaseljene, od kojih svako ima vlastitu početnu konfiguraciju, a možda i vlastiti skup zakona nauke. U velikoj većini ovih Vaseljena ne bi postojali pravi uslovi za razvoj složenih organizama; tek u retkima među njima, koje su slične našoj, razvila bi se inteligentna bića koja bi postavila pitanje: 'Zašto je Vaseljena onakva kakvu je mi vidimo?' Odgovor je tada jednostavan: 'Da je drugačija, mi ne bismo postojali!'

Zakoni nauke, onakvi kakve ih mi trenutno poznajemo, sadrže mnogo osnovnih konstanti, kao što su vrednost električnog naboja elektrona i odnos masa protona i elektrona. Mi ne možemo, bar u ovom času, da iz teorije predvidimo vrednost tih brojeva, već moramo da ih utvrđujemo posmatranjem. Nije isključeno da ćemo jednoga dana doći do celovite objedinjene teorije koja ih sve predviđa, ali takođe je moguće da neki od njih ili svi oni variraju od Vaseljene do Vaseljene ili unutar jedne Vaseljene. Izuzetna je okolnost da je, kako izgleda, vrednost ovih brojeva upravo tako fino podešena da omogućuje razvoj života. Primera radi, da je električni naboj elektrona bio samo malčice drugačiji, zvezde ili ne bi mogle da sagorevaju vodonik i helijum ili ne bi eksplodirale. Razume se, mogli bi postojati drugačiji oblici života, o kojima ništa ne slute čak ni pisci naučne fantastike i kojima ne bi bila potrebna svetlost zvezda kao što je naše Sunce ili teži hemijski elementi koji nastaju u zvezdama, da bi potom bili odbačeni natrag u kosmos kada te zvezde eksplodiraju. No, izgleda jasno da postoji samo srazmerno mali raspon mogućih vrednosti tih brojeva koji bi dopustio razvoj bilo kakvog oblika inteligentnog života. Ubedljivo pretežan broj skupova ovih vrednosti dao bi Vaseljene koje, iako mogu biti izuzetno lepe, ne bi sadržale nikoga ko bi se divio toj lepoti. Ovo se može uzeti ili kao dokaz o božanskoj promisli pri Postanju i izboru zakona nauke ili kao potkrepa jakog antropičkog načela.

Postoji više primedbi koje se mogu uputiti na račun jakog antropičkog načela. Pre svega, u kom smislu se može reći da sve ove različite Vaseljene postoje? Ukoliko su one uistinu međusobno razdvojene, ono što se zbiva u nekoj drugoj Vaseljenu ne bi moglo da ima posmatračke posledice u našoj. Trebalo bi stoga da primenimo načelo ekonomičnosti i da ih isključimo iz teorije. Ako su posredi, sa

druge strane, samo različita područja jedne Vaseljene, zakoni nauke trebalo bi da budu isti u svakom od njih, zato što se u protivnom ne bi moglo kontinuirano kretati iz jednog područja u drugo. U tom slučaju, jedina razlika između područja bile bi njihove početne konfiguracije, te bi se tako jako antropičko načelo svelo na slabo.

Druga primedba na račun jakog antropičkog načela jeste da ono ide protiv toka svekolike istorije nauke. Mi smo prevalili put od geocentričnih kosmologija Ptolemeja i njegovih sledbenika, preko heliocentrične teorije Kopernika i Galileja, do moderne slike u kojoj je Zemlja jedna planeta srednje veličine koja kruži oko prosečne zvezde na spoljnim rubovima jedne obične spiralne galaksije, koja je i sama samo jedna među približno milion miliona galaksija u Vaseljeni dostupnoj posmatranjima. No, prema jakom antropičkom načelu, ovo svekoliko ogromno zdanje postoji jednostavno nas radi. U to je veoma teško poverovati. Naš Sunčev sistem svakako predstavlja preduslov za naše postojanje, pa bi se ovo čak moglo proširiti i na celu našu Galaksiju, kako bi bila obuhvaćena i ranija pokolenja zvezda koja su sazdala teže elemente. Ali, kako izgleda, nema nikakve potrebe za svim onim mnoštvom drugih galaksija, niti za Vaseljenom koja bi bila tako jednoobrazna i slična u svim pravcima u makrokosmičkim razmerama.

Lakše bi se moglo prihvatiti antropičko načelo, ili bar njegova slaba verzija, ukoliko bi bilo moguće pokazati da izvesan veći broj različitih početnih konfiguracija dovodi do nastanka Vaseljene koju mi danas imamo prilike da posmatramo. Ako je to slučaj, Vaseljena koja se razvila iz svojevrstih nasumičnih početnih uslova trebalo bi da sadrži izvestan broj područja koja su ravnomerna i jednoobrazna, odnosno pogodna za razvoj inteligentnog života. Sa druge strane, ukoliko početno stanje Vaseljene treba odabrati krajnje pažljivo da bismo na kraju dobili nešto slično ovome što vidimo sada oko nas, onda je neverovatno da će Vaseljena sadržati ijedno područje u kome bi se pojavio život. U prethodno opisanom modelu toplog Velikog Praska, nije bilo dovoljno vremena u ranoj Vaseljeni da toplota stigne iz jednog područja u drugo. To znači da je početno stanje Vaseljene moralo imati potpuno istu temperaturu svuda, jer se jedino time može objasniti činjenica da je temperatura mikrotalasnog fona istovetna bez obzira na to u kom pravcu pogledali. Početna stopa

širenja takođe je morala da bude odabrana sasvim precizno kako bi se i dalje nalazila na istoj kritičnoj vrednosti neophodnoj da bi se izbeglo kolabiranje. Odavde proishodi da je početno stanje Vaseljene moralo biti odabrano krajnje brižljivo, ukoliko je model Velikog Praska ispravan sve do samog početka vremena. Bilo bi veoma teško objasniti zašto je Vaseljena počela upravo na taj način, osim da je tu posredi čin Boga koji je imao nameru da stvori bića poput nas.

U nastojanju da pronađe model Vaseljene u kome je iz mnogih različitih početnih uslova moglo da nastane nešto slično sadašnjoj Vaseljini, fizičar iz Masačusetskog instituta za tehnologiju Alen Gat izložio je zamisao da je rana Vaseljena mogla proći kroz razdoblje veoma brzog širenja. Za ovakvo širenje se kaže da je 'inflatorno', u smislu da se Vaseljena u početku širila ubrzanom stopom, za razliku od sadašnje usporene stope. Prema Gat, prečnik Vaseljene povećao se milion miliona miliona miliona miliona puta (jedinica iza koje se pruža niz od trideset nula) u jednom majušnom delu sekunde.

Gat smatra da je Vaseljena počela Velikim Praskom u veoma toplom, ali i prilično haotičnom stanju. Ove visoke temperature značile bi da su se čestice u Vaseljini kretale veoma brzo i da im je energija bila veoma visoka. Kao što je prethodno rečeno, očekivalo bi se da pri tako visokim temperaturama jaka i slaba nuklearna sila, kao i elektromagnetna sila budu objedinjene u jedinstvenu silu. Sa potonjim širenjem, Vaseljena bi se hladila, a energija čestica bi opadala. Konačno, usledio bi takozvani fazni prelaz i simetrija između sila bila bi narušena: jaka sila postala bi različita od slabe i elektromagnetne. Jedan poznati primer faznog prelaza jeste smrzavanje vode prilikom njenog hlađenja. Tečna voda je simetrična, ista u svakoj tački i u svim pravcima. Kada, međutim, dođe do nastanka kristala leda, oni će imati određene položaje i biće upravljani u nekom pravcu. Ovo narušava prethodnu simetriju vode.

U slučaju vode, ukoliko pažljivo postupate, moguće je izvesti 'superhlađenje', odnosno smanjenje temperature ispod tačke mržnjenja (0 stepeni Celzijusa) bez obrazovanja leda. Prema Gatovom mišljenju, Vaseljena je mogla da se ponaša na isti način: temperatura joj je mogla pasti ispod kritične granice, ali pri tom ne bi

došlo do narušavanja simetrije između sila. Ako se ovo dogodilo, Vaseljena bi se nalazila u nestabilnom stanju sa više energije nego što bi imala onda kada bi simetrija bila narušena. Može se pokazati da ovaj poseban višak energije ima antigravitaciono dejstvo: on bi se ponašao upravo kao kosmološka konstanta koju je Ajnštajn uveo u opštu relativnost kada je pokušavao da sazda statični model Vaseljene. Budući da bi se Vaseljena već nalazila u stanju širenja, baš kao i u modelu toplog Velikog Praska, odbojno dejstvo ove kosmološke konstante dovelo bi do toga da se Vaseljena širi sve bržom stopom. Čak i u područjima u kojima bi čestica materije bilo iznad proseka, gravitaciono privlačenje materije bilo bi nadjačano odbojnim dejstvom gravitacione konstante. Prema tome, ova područja takođe bi se širila na ubrzani, inflatorni način. Kako bi se ovo širenje nastavljalo, a čestice materije se razmicale, na kraju bi preostala jedino Vaseljena koja se širi i koja je gotovo sasvim lišena čestica, premda se još nalazi u superohlađenom stanju. Sve nepravilnosti u toj Vaseljenu bile bi otklonjene širenjem, baš kao što se nabori na balonu otklanjaju kada ga naduvate. Sadašnje ravnomerno i jednoobrazno stanje Vaseljene moglo je, dakle, nastati iz mnoštva različitih nejednoobraznih početnih stanja.

U takvoj Vaseljenu, u kojoj kosmološka konstanta ubrzava širenje, umesto da ga usporava gravitaciono privlačenje materije, bilo bi dovoljno vremena da svetlost prevali put od jednog do drugog područja u ranoj Vaseljenu. Ovo bi moglo da predstavlja rešenje ranije pomenutog problema istovetnosti osobina različitih područja rane Vaseljene. Štaviše, stopa širenja Vaseljene automatski bi postala veoma bliska kritičnoj stopi određenoj gustinom energije Vaseljene. A ovo bi, dalje, moglo da bude objašnjenje zašto je stopa širenja i dalje tako blizu kritične vrednosti, bez obaveze da se pretpostavi da je početna stopa širenja Vaseljene bila veoma pomno odabrana.

Zamisao o inflaciji takođe može da objasni zašto u Vaseljenu ima toliko materije. U području Vaseljene koje je dostupno našim posmatranjima postoji približno deset miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona miliona (jedinica iza koje se pruža niz od osamdeset pet nula) čestica. Odakle sve one potiču? Odgovor glasi da, prema

kvantnoj teoriji, čestice mogu biti stvorene iz energije u obliku parova čestica-antičestica. Ali time se otvara pitanje odakle potiče energija. Odgovor glasi da je ukupna energija u Vaseljenu ravna nuli. Materija u Vaseljenu sazdana je od pozitivne energije. Međutim, materija samu sebe privlači silom teže. Dva komada materije koja se nalaze blizu jedan drugome imaju manje energije nego onda kada su udaljeniji, zato što treba da utrošite energiju da biste ih razdvojili, dejstvujući protiv gravitacione sile koja ih privlači jedan drugome. Prema tome, u izvesnom smislu, gravitaciono polje ima negativnu energiju. U slučaju Vaseljene koja je približno jednoobrazna u prostoru može se pokazati da se ova negativna gravitaciona energija tačno potire sa pozitivnom energijom koju predstavlja materija. Ukupna energija u Vaseljenu ravna je, dakle, nuli.

A dva puta nula takođe je nula. Prema tome, Vaseljena može da udvostruči količinu pozitivne energije materije i da udvostruči negativnu gravitacionu energiju bez narušavanja zakona o očuvanju energije. Ovo se ne događa kod normalnog širenja Vaseljene, gde se gustina energije materije smanjuje kako se Vaseljena povećava. Zbiva se, međutim, kod inflatornog širenja, zato što gustina energije superohlađenog stanja ostaje stalna dok se Vaseljena širi: kada se veličina Vaseljene udvostruči, pozitivna energija materije i negativna gravitaciona energija takođe se udvostručuju, tako da ukupna energija ostaje ravna nuli. Tokom inflatorne faze, veličina Vaseljene veoma se povećava. Prema tome, ukupna količina raspoložive energije za stvaranje čestica postaje izuzetno velika. Tim povodom Gat je jednom prilikom primetio: 'Kažu da nema takve stvari kao što je besplatan ručak. Ali Vaseljena jeste najveći besplatan ručak.'

Vaseljena se danas više ne širi na inflatoran način. Prema tome, mora postojati neki mehanizam koji odstranjuje veoma veliku efektivnu kosmološku konstantu, te tako menja stopu širenja, čija se brzina više ne povećava, nego se smanjuje pod dejstvom gravitacije, upravo kao što je to sada slučaj. Kod inflatornog širenja može se očekivati da će simetrija između sila konačno biti narušena, baš kao što se superohlađena voda na kraju ipak uvek smrzne. Višak energije iz stanja nenarušene simetrije tada se oslobađa i zagreva Vaseljenu do temperature tik ispod kritične vrednosti za simetriju između sila. Vaseljena bi potom nastavila da se širi i hladi, baš kao u

modelu toplog Velikog Praska, ali sada postoji objašnjenje zašto se širi upravo kritičnom stopom i zašto njena različita područja imaju istu temperaturu.

Prema Gatovoj prvobitnoj zamisli, fazni prelaz se zbio naglo, baš kao što se ledeni kristali pojavljuju najednom u veoma hladnoj vodi. Ideja se ogledala u tome da se 'mehurovi' nove faze narušene simetrije obrazuju u staroj fazi, slično mehurovima pare okruženim ključalom vodom. Mehurovi bi se širili i povezivali sve dok se cela Vaseljena ne bi našla u novoj fazi. Poteškoća se, međutim, ogledala u tome - kako smo primetili ja i nekoliko drugih fizičara - što se Vaseljena širila tako brzo da bi se mehurovi, čak i da su rasli brzinom svetlosti, međusobno udaljavali, te tako ne bi moglo doći do njihovog spajanja. Vaseljena bi se našla u veoma nejednoobraznom stanju, u kome bi u nekim oblastima i dalje postojala simetrija između različitih sila. Takav model Vaseljene ne bi odgovarao onome što imamo prilike da vidimo.

Oktobra 1981. boravio sam u Moskvi na konferenciji o kvantnoj gravitaciji. Posle ovog skupa održao sam predavanje o inflatornom modelu i poteškoćama vezanim za njega u Šternbergovom astronomskom institutu. U publici se nalazio mladi ruski naučnik Andrej Linde iz Instituta Lebedev u Moskvi. On je primetio da se nevolja sa nespajanjem mehurova može izbeći ako su mehurovi bili toliko veliki da se naše područje Vaseljene celo nalazilo u jednom od njih. Da bi ovo dejstvovalo, prelaz iz simetrije u narušenu simetriju morao se odigrati veoma sporo unutar jednog mehura, ali to je sasvim moguće prema velikim objedinjenim teorijama. Lindeova zamisao o sporom narušavanju simetrije bila je veoma dobra, ali kasnije sam shvatio da bi njegovi mehurovi morali da budu veći od nekadašnje Vaseljene! Pokazao sam, naprotiv, da bi do narušavanja simetrije došlo svuda u isto vreme, a ne samo unutar mehurova. Ovo bi dovelo do jednoobrazne Vaseljene, kakvu i uočavamo danas. Veoma me je uzbudila ova zamisao i stao sam da raspravljam o njoj sa jednim mojim studentom, Janom Mosom. Kao Lindeov prijatelj, našao sam se u prilično nezgodnoj situaciji, međutim, kada mi je jedan naučni časopis kasnije poslao njegov rad i zatražio moje mišljenje o tome da li ga treba objaviti. Odgovorio sam im da postoji ta greška sa mehurovima koji su veći od Vaseljene, ali da je osnovna



ideja o sporom narušavanju simetrije veoma dobra. Preporučio sam rad za objavljivanje u njegovom izvornom obliku, zato što bi Lindeu bilo potrebno nekoliko meseci da ga ispravi, budući da je sve što je slao na Zapad moralo da prođe sovjetsku cenzuru, koja nije bila ni naročito umešna ni posebno brza kada su posredi bili naučni radovi. Stoga sam u istom časopisu objavio i svoj kratak rad napisan u saradnji sa Janom Mosom, u kome smo skrenuli pažnju na problem sa mehurovima i ukazali na to kako bi on mogao biti rešen.

Narednog dana pošto sam se vratio iz Moskve, krenuo sam na putovanje za Filadelfiju, gde je trebalo da primim medalju u Frenklinovom institutu. Moja sekretarica Džudi Fela uspela je, koristeći svoj zavidan šarm, da kod Britiš Ervejza dobije za sebe i mene besplatne karte na Konkordu iz reklamnog fonda ove kompanije. Međutim, provala oblaka zadržala nas je na putu za aerodrom, tako da smo zakasnili na avion. No, na kraju sam ipak stigao u Filadelfiju i primio medalju. Tu su me zamolili da održim predavanje o inflatornoj Vaseljeni na univerzitetu Dreksel. Glavninu izlaganja posvetio sam razmatranju problema vezanih za inflatornu Vaseljenu, baš kao i u Moskvi.

Na zamisao veoma sličnu Lindeovoj nezavisno su došli, nekoliko meseci kasnije, Pol Stajnhart i Andreas Albreht sa Pensilvanijskog univerziteta. Njima dvojici i Lindeu sada se ravnopravno pripisuje u zaslugu takozvani 'novi inflatorni model' koji se zasniva na zamisli o sporom narušavanju simetrije. (Stari inflatorni model predstavlja Gatovu prvobitnu ideju o brzom narušavanju simetrije prilikom obrazovanja mehurova.)

Novi inflatorni model bio je valjan pokušaj objašnjenja zašto je Vaseljena upravo takva kakva je. Ja i nekoliko drugih fizičara pokazali smo, međutim, da ovaj model, bar u svom izvornom obliku, predviđa znatno veće varijacije mikrotalasnog fona nego što su one koje uočavamo. Potonja proučavanja takođe su dovela u sumnju mogućnost postojanja odgovarajućeg faznog prelaza u ranoj Vaseljeni. Prema mom mišljenju, novi inflatorni model sada je mrtav kao naučna teorija, premda mnogi naučnici još nisu čuli za njegovo obesnaženje, te ga u svojim radovima i dalje pominju kao da je na snazi. Jedan bolji model, takozvani haotični inflatorni model, izložio je Linde 1983. U njemu nema faznog prelaza ili superhlađenja.

Umesto toga, tu je polje sa spinom 0 koje bi, usled kvantnih fluktuacija, imalo velike vrednosti u pojedinim područjima rane Vaseljene. Energija ovog polja u tim područjima ponašala bi se kao kosmološka konstanta. Ona bi vršila odbojno gravitaciono dejstvo, te bi se tako ta područja širila na inflatorni način. Prilikom ovog širenja, energija polja u njima lagano bi opadala, sve dok se inflatorno širenje ne bi pretvorilo u širenje slično onom iz modela toplog Velikog Praska. Jedno od tih područja postalo bi ono što danas vidimo kao Vaseljenu dostupnu posmatranjima. Ovaj model ima sva preimućstva u odnosu na ranije inflatorne modele, ali ne zavisi od sumnjivog faznog prelaza, i iz njega, štaviše, proishodi takva vrednost fluktuacija temperature mikrotalasnog fona koja je u saglasnosti sa nalazima posmatranja.

Ovaj rad na inflatornim modelima pokazao je da je sadašnje stanje Vaseljne moglo da nastane iz prilično velikog broja različitih početnih konfiguracija. Ova okolnost je značajna, budući da pokazuje da početno stanje onog dela Vaseljene u kome se mi nalazimo nije moralo biti krajnje pomno odabrano. Možemo, dakle, ukoliko to želimo, da pomoću slabog antropičkog načela objasnimo zašto Vaseljena izgleda upravo ovako danas. Isključeno je, međutim, da bi, svaka početna konfiguracija dovela do Vaseljene slične onoj koju mi danas uočavamo. Ovo se može pokazati razmatranjem nekog veoma različitog stanja Vaseljene u ovom trenutku, koje bi, na primer, bilo veoma neravnomerno i nepravilno. Pomoću zakona nauke ta Vaseljena mogla bi se projektovati unazad kroz vreme da bi se odredila njena konfiguracija u ranijim razdobljima. Prema teoremama singularnosti iz klasične opšte relativnosti, i dalje bi postojala singularnost Velikog Praska. Ukoliko projektujete takvu Vaseljenu napred u vreme, saglasno zakonima nauke, na kraju ćete dobiti neravnomerno i nepravilno stanje od koga ste počeli. Prema tome, morale su postojati početne konfiguracije koje ne bi dale Vaseljenu što je mi vidimo danas. Ni inflatorni model nam, dakle, ne govori zašto početna konfiguracija nije bila takva da nešto veoma različito od onoga što posmatramo sada. Moramo li da se obratimo antropičkom načelu radi objašnjenja? Da li je posredi bio samo srećni splet okolnosti? Ovako nešto predstavljalo bi izraz očajanja, poricanje svih naših nada da dokučimo temeljni poredak Vaseljene.

Da bi se predvidelo kako je Vaseļjena poĉela, potrebno je znati zakone koji su bili na snazi na poĉetku vremena. Ako je klasiĉna teorija opšte relativnosti taĉna, teoreme singularnosti koje smo RodŹer Penrouz i ja dokazali pokazuju da je poĉetak vremena predstavljao taĉku beskrajne gustine i beskrajne zakrivljenosti prostorvremena. Svi poznati zakoni nauke prestali bi da vaŹe u toj taĉki. Moglo bi se pretpostaviti da neki novi zakoni vaŹe u singularnostima, ali bilo bi veoma teŹko ĉak i formulisati ove zakone kod taĉaka koje se tako rđavo ponaŹaju, a nalazi posmatranja ne bi nam niŹta govorili o tome kakvi bi oni mogli biti. No, ono na Źta singularnosti uistinu ukazuju jeste to da gravitaciono polje postaje tako snaŹno da na znaĉaju veoma dobijaju kvantna gravitaciona dejstva: klasiĉna teorija viŹe ne predstavlja valjan opis Vaseļjene. Potrebno je, dakle, primeniti kvantnu teoriju gravitacije pri razmatranju veoma ranih razdoblja Vaseļjene. Kao Źto ĉemo videti, u kvantnoj teoriji je moguće da obiĉni zakoni nauke budu na snazi svuda, ukljuĉujući tu i poĉetak vremena: nije, naime, neophodno postulirati nove zakone za singularnosti, zato Źto u kvantnoj teoriji uopŹte nema potrebe za singularnostima.

Mi joŹ ne raspolaŹemo celovitom i koherentnom teorijom koja bi dovela u vezu kvantnu mehaniku i gravitaciju. Priliĉno smo, međutim, uvereni u neka svojstva koja bi takva objedinjena teorija trebalo da ima. Jedno od njih jeste da bi trebalo da obuhvati Fajnmenovu zamisao o formulisanju kvantne teorije iz perspektive zbira po istorijama. Prema ovoj zamisli, data ĉestica nema samo jednu istoriju, kao Źto bi to bio sluĉaj u klasiĉnoj teoriji. Umesto toga, pretpostavlja se da se ona kreće svim mogućim putanjama u prostorvremenu, a sa svakom od tih istorija stoje u vezi po dva broja, od kojih jedan predstavlja veliĉinu talasa, a drugi njegov poloŹaj u ciklusu (njegovu fazu). Verovatnoća da ĉestica, na primer, prođe kroz neku posebnu taĉku ustanovljava se na taj naĉin Źto se zbrajaju talasi svih mogućih istorija koje prolaze kroz tu taĉku. Kada se, međutim, konkretno pokuŹa da se dobiju ovi zbrovi, nailazi se na nekoliko tehniĉkih problema. Jedini naĉin da se oni otklone jeste sledeća neobiĉna preporuka: moraju se sabrati talasi istorija ĉestica koje ne spadaju u 'stvarno' vreme, Źto predstavlja deo mog i vaŹeg iskustva, već se odigravaju u takozvanom imaginarnom vremenu.

Imaginarno vreme može nalikovati na naučnu fantastiku, ali to je, zapravo, sasvim određen matematički pojam. Ako uzmemo bilo koji običan (ili 'stvarni') broj i pomnožimo ga samim sobom, dobijeni rezultat je pozitivan broj. (Na primer, 2 puta 2 je 4, ali i -2 puta -2 takođe je 4). Postoje, međutim, i posebni brojevi (nazvani imaginarni) koji, kada bivaju pomnoženi samim sobom, daju negativne brojeve. (Broj  $i$  pomnožen samim sobom daje  $-1$ ,  $2i$  pomnoženo samim sobom daje  $-4$  i tako dalje.) Da bi se izbegle tehničke poteškoće sa Fajnmenovim zbirom po istorijama, mora se koristiti imaginarno vreme. Drugim rečima, za potrebe izračunavanja vreme se mora meriti imaginarnim, a ne stvarnim brojevima. Ovo ima jednu zanimljivu posledicu po prostorvreme: razlika između prostora i vremena potpuno nestaje. Prostorvreme u kome događaji imaju imaginarne vrednosti vremenske koordinate naziva se euklidovsko, po starogrčkom matematičaru Euklidu, koji je utemeljio izučavanje geometrije dvodimenzionih površina. Ono što mi danas nazivamo euklidovskim prostorvremenom veoma je slično tome, osim što umesto dve ima četiri dimenzije. U euklidovskom prostorvremenu nema razlike između vremenskog pravca i pravca u prostoru. Nasuprot tome, u stvarnom prostorvremenu, u kome se događaji označavaju običnim, stvarnim vrednostima vremenske koordinate, ovu razliku je lako razabrati - vremenski pravac u svim tačkama leži unutar svetlosne kupe, dok su prostorni pravci izvan nje. U svakom slučaju, što se tiče svakodnevnog kvantne mehanike, naše korišćenje imaginarnog vremena i euklidovskog prostorvremena predstavlja samo puko matematičko sredstvo (ili trik) kojim izračunavamo odgovore o stvarnom prostorvremenu.

Druga osobina za koju smatramo da mora predstavljati deo svake konačne teorije jeste Ajnštajnova zamisao prema kojoj se gravitaciono polje predstavlja zakrivljenošću prostorvremena: čestice nastoje da se kreću pravolinijski u zakrivljenom prostoru, ali kako prostorvreme nije ravno njihove putanje izgledaju krive kao pod dejstvom gravitacionog polja. Kada primenimo Fajnmenov zbir po istorijama na Ajnštajново viđenje gravitacije, ono što odgovara istoriji neke čestice sada je celokupno zakrivljeno prostorvreme koje predstavlja istoriju svekolike Vaseljene. Da bi se izbegle tehničke poteškoće u konkretnom dobijanju zbira po istorijama, mora se

pretpostaviti da su ova zakrivljena prostorvremena euklidovska. Drugim rečima, vreme je tu imaginarno i ne može se razlikovati od pravca prostora. Da bi se izračunala verovatnoća nalaženja nekog stvarnog prostorvremena sa određenim svojstvima, kao što je, na primer, to da izgleda isto u svakoj tački i u svim pravcima, valja zbrojiti talase svih istorija koje imaju to svojstvo.

U klasičnoj teoriji opšte relativnosti postoji mnoštvo različitih mogućih zakrivljenih prostorvremena, od kojih svako odgovara nekom različitom početnom stanju Vaseljene. Kada bismo znali početno stanje naše Vaseljene, znali bismo i njenu celokupnu istoriju. Slično tome, u kvantnoj teoriji gravitacije postoji mnoštvo različitih mogućih kvantnih stanja Vaseljene. Ponovo, kada bismo znali kako se euklidovsko zakrivljeno prostorvreme u zbiru po istorijama ponašalo u rana vremena, znali bismo i kvantno stanje Vaseljene.

U klasičnoj teoriji gravitacije, koja se temelji na stvarnom prostorvremenu, postoje samo dva moguća načina na koja se Vaseljena može ponašati: ona je ili mogla da postoji neodređeno dugo, ili je imala početak u singularnosti u nekom konačnom vremenu u prošlosti. U kvantnoj teoriji gravitacije, sa druge strane, javlja se i treća mogućnost. Zahvaljujući korišćenju euklidovskog prostorvremena, u kome je vremenski pravac izjednačen sa pravcima u prostoru, moguće je da prostorvreme bude konačno u doseg, ali i da nema singularnosti koje bi obrazovale neku granicu ili ivicu. Prostorvreme bilo bi tu slično površini Zemlje, s tom razlikom što ima još dve dodatne dimenzije. Površina Zemlje konačna je u doseg, ali nema granicu ili ivicu: ukoliko otplovite ka zalasku Sunca, nećete pasti preko ivice ili uleteti u singularnost. (Znam to iz ličnog iskustva, zato što sam obišao svet!)

Ako se euklidovsko prostorvreme proteže unatrag do beskrajnog imaginarnog vremena, ili počinje singularnošću u imaginarnom vremenu, onda se suočavamo sa istim problemom kao u klasičnoj teoriji određenja početnog stanja Vaseljene: Bog možda zna kako je Vaseljena počela, ali mi ne možemo da navedemo nijedan praktičan razlog zbog koga bismo smatrali da je ona počela na jedan, a ne na drugi način. Sa druge strane, kvantna teorija gravitacije otvorila je jednu novu mogućnost u okviru koje ne bi bilo granica prostorvremena, te tako ne bi postojala ni potreba da se

ustanovljava ponašanje na granici. Ne bi bilo singularnosti kod koje bi zakoni nauke prestali da važe, niti ivice prostorvremena gde bi valjalo prizivati Boga ili neki nov zakon da vaspostave granične uslove prostorvremena. Moglo bi se reći: 'Granični uslov Vaseljene jeste da ona nema granicu.' Vaseljena bi bila potpuno samosvojna i na nju ne bi uticalo ništa izvan nje. Ona ne bi bila ni stvorena ni uništena, već bi naprosto BILA.

Na konferenciji u Vatikanu, o kojoj je ranije bilo reči, prvi put sam izložio zamisao o tome da su možda prostor i vreme zajedno obrazovali jednu površinu, čija je veličina bila konačna, ali i koja nije imala granicu ili ivicu. Moj rad je bio prilično matematičkog karaktera, međutim, tako da ono što je iz njega proishodilo o ulozi Boga u stvaranju Vaseljene nije svima odmah bilo jasno (na moju sreću). U vreme vatikanskog skupa još nisam znao kako da iskoristim zamisao o odsustvu granica za predviđanja o Vaseljeni. No, naredno leto proveo sam na Kalifornijskom univerzitetu u Santa Barbari. Tamo sam u saradnji sa prijateljem i kolegom Džimom Hartlom ustanovio koje uslove Vaseljena mora da zadovoljava ukoliko prostorvreme nema granica. Kada sam se vratio u Kembridž, nastavio sam ovaj rad sa dvojicom svojih istraživača-studenata, Džulijanom Latrelom i Džonatanom Halivelom.

Želeo bih da naglasim da je ova zamisao o tome da su prostor i vreme konačni, ali bez granica, samo pretpostavka: ona se, naime, ne može izvesti iz nekog drugog načela. Kao i svaka druga naučna teorija, ona prvobitno može biti izložena iz estetskih ili metafizičkih razloga, ali njena stvarna provera jeste to da li daje predviđanja koja se poklapaju sa nalazima posmatranja. Ovo je, međutim, teško ustanoviti u slučaju kvantne gravitacije, i to iz dva razloga. Prvo, kao što će biti objašnjeno u narednom poglavlju, mi još nismo sasvim sigurni u to koja tačno teorija uspešno objedinjuje opštu relativnost i kvantnu mehaniku, premda smo prilično upućeni u to kakav oblik ta teorija mora da ima. Drugo, svaki model koji detaljno opisuje celu Vaseljenu bio bi u matematičkom pogledu odveć složen da bismo mogli da izračunamo tačna predviđanja. Potrebno je stoga pribеći pojednostavljenim pretpostavkama i približnostima - pa čak i tada problem dolaženja do predviđanja ostaje izuzetno težak.

Svaka istorija u zbiru po istorijama opisaće ne samo prostorvreme,

nego i sve u njemu, računajući tu i složene organizme kao što su ljudska bića, koja su kadra da razmatraju istoriju Vaseljene. Ovo ne može da predstavlja novu potvrdu antropičkog načela, jer ako su sve istorije moguće, onda sve dok mi postojimo u jednoj od njih možemo da koristimo antropičko načelo da njime objasnimo zašto nalazimo da je Vaseljena upravo ovakva kakva je. Nije, međutim, jasno kakav se tačno smisao može pripisati drugim istorijama u kojima mi ne postojimo. Ovo viđenje kvantne teorije gravitacije bilo bi, međutim, znatno više zadovoljavajuće ukoliko bi se moglo pokazati, pomoću zbira po istorijama, da naša Vaseljena nije samo jedna od mogućih istorija, već jedna od najverovatnijih. Da bismo to učinili, moramo doći do zbira po istorijama za sva moguća euklidovska prostorvremena koja nemaju granice.

Pod idejom o bezgraničnosti podrazumeva se to da su zanemarljivi izgledi da se ustanovi kako Vaseljena prolazi kroz sve moguće istorije; umesto toga, postoji jedan poseban skup istorija koje su znatno verovatnije od drugih. Ove istorije mogu se predstaviti tako kao da su slične površini Zemlje, pri čemu udaljenost od severnog pola odgovara imaginarnom vremenu, a veličina kruga nepromenljivih udaljenosti od severnog pola odgovara prostornoj veličini Vaseljene. Vaseljena počinje na severnom polu kao jedna tačka. Kako se krećemo na jug, krug geografskih širina na nepromenljivoj udaljenosti od severnog pola stalno se povećava, što odgovara širenju Vaseljene sa imaginarnim vremenom (Ilus. 8.1). Vaseljena će dostići najveću veličinu na polutaru, da bi potom počela da se sužava sa daljim rastom imaginarnog vremena, sve dok se ne sažme u jednu tačku na južnom polu. Iako bi Vaseljena imala nultu veličinu na severnom i južnom polu, ove tačke ne bi bile singularnosti nimalo više nego što su singularni severni i južni pol na Zemlji. Zakoni nauke tu bi i dalje važili, baš kao što važe i na severnom i južnom polu naše planete.

Istorija Vaseljene u stvarnom vremenu, međutim, izgledala bi sasvim drugačije. Pre otprilike deset ili dvadeset hiljada miliona godina ona je imala najmanju veličinu, koja je odgovarala najvećem prečniku istorije u imaginarnom vremenu. U potonje stvarno vreme Vaseljena bi se širila slično haotičnom inflatornom modelu koji je izložio Linde (ali sada se više ne bi moralo pretpostaviti da je Vaseljena na neki

način stvorena u prikladnom stanju). Vaseljena bi se raširila do veoma velike veličine, da bi potom počela da kolabira ka onome što izgleda kao singularnost u stvarnom vremenu. Prema tome, u izvesnom smislu, nas i dalje sve čeka zao usud, čak i ako se držimo podalje od crnih rupa. Jedino ako bismo mogli da zamislimo Vaseljenu iz perspektive imaginarnog vremena, onda ne bi bilo nikakvih singularnosti.

Ako je Vaseljena stvarno u takvom kvantnom stanju, onda u istoriji Vaseljene u imaginarnom vremenu ne bi bilo singularnosti. Moglo bi stoga izgledati da su moji noviji radovi opovrgli rezultate mojih ranijih izučavanja singularnosti. Ali, kao što je prethodno istaknuto, stvarni značaj teorema singularnosti ogledao se u tome što su pokazale da gravitaciono polje mora postati tako snažno da se kvantna gravitaciona dejstva ne mogu zanemariti. A ovo je, sa svoje strane, dovelo do zamisli da Vaseljena može biti konačna u imaginarnom vremenu, ali bez granica ili singularnosti. Kada se vratimo u stvarno vreme u kome mi živimo, međutim, izgledalo bi da singularnosti još postoje. Siroti astronaut koji upadne u crnu rupu i dalje bi doživeo sumoran kraj; jedino ako bi živeo u imaginarnom vremenu ne bi naišao ni na kakve singularnosti.

Odavde bi moglo da proishodi da je takozvano imaginarno vreme, zapravo, stvarno vreme, dok je ono što nazivamo stvarno vreme samo proizvod naše uobrazilje. U stvarnom vremenu Vaseljena ima početak i kraj u singularnostima koje obrazuju granicu prostorvremena i u kojima prestaju da važe zakoni nauke. Ali u imaginarnom vremenu nema ni singularnosti ni granice. Prema tome, ono što nazivamo imaginarnim vremenom zapravo je temeljnije, dok je ono što nazivamo stvarnim vremenom samo zamisao koju koristimo kao pomoćno sredstvo da bismo opisali šta mislimo kako izgleda Vaseljena. Ali saglasno pristupu koji sam opisao u prvom poglavlju, jedna naučna teorija samo je matematički model kojim se služimo da bismo opisali naša posmatranja: ona postoji jedino u našim umovima. Prema tome, besmisleno je postaviti pitanje: 'Koje je stvarno: 'stvarno' ili 'imaginarno' vreme?' Stvar je naprosto u tome koje je od njih korisnije pri pomenutom opisivanju.

Takođe se može primeniti zbir po istorijama, zajedno sa idejom o



bezgraničnosti, da bi se ustanovilo za koja je svojstva Vaseljene verovatno da će se javiti zajedno. Primera radi, može se izračunati verovatnoća širenja Vaseljene približno istom stopom u svim različitim pravcima u razdoblju kada njena gustina ima sadašnju vrednost. U pojednostavljenim modelima koji su do sada ispitani pokazalo se da je ova verovatnoća visoka; drugim rečima, predloženi uslov bezgraničnosti dovodi do predviđanja da je izuzetno verovatno da je sadašnja stopa širenja Vaseljene gotovo ista u svim pravcima. Ovo je u saglasnosti sa nalazima posmatranja fona mikrotalasnog zračenja, koji pokazuju da je njegova snaga gotovo potpuno ista u svim pravcima. Da se Vaseljena širi brže u nekim pravcima nego u drugim, snaga zračenja iz tih pravaca bila bi smanjena usled povećanog crvenog pomaka.

Na ostalim predviđanjima koja slede iz uslova bezgraničnosti trenutno se radi. Jedan posebno zanimljiv problem jeste veličina malog odstupanja od jednoobrazne gustine u ranoj Vaseljeni, koje je dovelo do nastanka prvih galaksija, a potom zvezda i konačno nas. Načelo neodređenosti podrazumeva da rana Vaseljena nije mogla biti potpuno jednoobrazna zato što su morale postojati izvesne neodređenosti ili fluktuacije u pogledu položaja i brzina čestica. Pomoću uslova bezgraničnosti ustanovili smo da je Vaseljena morala, u stvari, početi uz najmanju moguću nejednoobraznost koju dopušta načelo neodređenosti. Ona je potom prošla kroz razdoblje brzog širenja, kao u inflatornim modelima. Tokom tog razdoblja početne nejednoobraznosti bile bi pojačane sve dok ne bi postale dovoljno velike da se njima može objasniti nastanak ustrojstva koja danas uočavamo oko nas. U Vaseljeni koja se širi i u kojoj gustina materije blago varira od mesta do mesta gravitacija bi nagnala gušća područja da uspore širenje i otpočnu sažimanje. Ovo bi dovelo do obrazovanja galaksija, zvezda i, konačno, čak do beznačajnih stvorenja kao što smo mi. Prema tome, sva složena ustrojstva koja vidimo u Vaseljeni mogla bi se objasniti uslovom bezgraničnosti udruženim sa načelom neodređenosti kvantne mehanike.

Zamisao o tome da prostor i vreme mogu obrazovati zatvorenu površinu bez granica takođe ima duboke implikacije po ulogu Boga u stvarima Vaseljene. Sa uspehom naučnih teorija u opisivanju događaja mnogi ljudi su poverovali u to da Bog dopušta da se

Vaseljena razvija saglasno nekom skupu zakona i da ne utiče na nju kako bi osujetio ove zakone. Međutim, ti zakoni nam ništa ne govore o tome kako je Vaseljena trebalo da izgleda u početku; prema tome, od Boga bi i dalje zavisilo navijanje časovnika i njegovo puštanje u rad. Sve dok Vaseljena, dakle, ima početak, mogli bismo pretpostaviti da ima i nekog tvorca. Ali ako je ona uistinu potpuno samosvojna, bez granica ili rubova, onda ne bi imala ni početak ni kraj, već bi naprosto bila. A zar tu ima mesta za Tvorca?

## 9. STRELA VREMENA

U prethodnim poglavljima videli smo kako su se naša viđenja prirode vremena menjala sa godinama. Sve do početka ovog stoleća ljudi su verovali u apsolutno vreme. Drugim rečima, bilo koji događaj mogao se označiti nekim brojem nazvanim 'vreme' na jedinstven način, a svi valjani časovnici složili bi se u pogledu intervala proteklog između dva događaja. Otkriće, međutim, da je brzina svetlosti ista za sve posmatrača, bez obzira na to kako se oni kreću, dovelo je do teorije relativnosti u kojoj je trebalo napustiti zamisao o tome da postoji jedinstveno apsolutno vreme. Umesto toga, svaki posmatrač imao bi vlastiti tok vremena koje bi merio časovnik što se nalazi kod njega: časovnici koji se nalaze kod različitih posmatrača ne bi, nužno, morali da pokazuju isto vreme. Vreme je tako postalo jedan ličniji pojam, relativan u odnosu na posmatrača koji ga meri.

Prilikom pokušaja objedinjenja gravitacije i kvantne mehanike neophodno je uvesti zamisao o imaginarnom vremenu. Imaginarno vreme se ne razlikuje od pravaca u prostoru. Ako neko ide na sever, onda se jednostavno može okrenuti i uputiti ka jugu; isto tako, ako neko može da ide napred u imaginarnom vremenu, trebalo bi da bude kadar da se okrene i vrati natrag. Ovo znači da ne bi bilo neke bitnije razlike između smera 'napred' i smera 'nazad' u imaginarnom vremenu. Sa druge strane, ukoliko se razmotri 'stvarno' vreme, postoji ogromna razlika između smera 'napred' i smera 'nazad', kao što to svi dobro znamo. Odakle potiče ta razlika između prošlosti i budućnosti? Zašto se sećamo prošlosti, ali ne i budućnosti.

Zakoni prirode ne prave razliku između prošlosti i budućnosti. Tačnije govoreći, kao što je ranije objašnjeno, zakoni prirode ostaju nepromenjeni kod kombinacija operacija (ili simetrija) koje se označavaju sa 'C', 'P' i 'T'. ('C' je zamena čestica antičesticama. 'P' podrazumeva sliku u ogledalu, odnosno promenu mesta leve i desne strane. 'T' pretpostavlja promenu smera kretanja svih čestica: drugim rečima, kretanje unatrag.) Zakoni prirode koji upravljaju ponašanjem materije pod svim normalnim okolnostima ostaju nepromenjeni u slučaju kombinovanja prve dve operacije, 'C' i 'P', odnosno život bi bio potpuno isti za žitelje neke planete koji bi predstavljali naše slike

u ogledalu i koji bi bili sazdani od antimaterije, a ne od materije. Ako se zakoni prirode ne menjaju u uslovima kombinovanja operacija 'C' i 'P', kao i operacija 'C', 'P' i 'T', onda moraju ostati nepromenjeni i u slučaju samo operacije 'T'. Postoji, međutim, velika razlika između smera 'napred' i smera 'nazad' stvarnog vremena u običnom životu. Zamislite čašu punu vode koja pada sa stola i razbija se u komade na podu. Ukoliko biste to snimili, lako biste mogli da kažete da li se film pušta napred ili nazad. Ako biste ga pustili nazad, videli biste deliće kako se iznenada sakupljaju sa poda i obrazuju celu čašu, koja potom skače na plohu stola. Ustanovili biste da je film pušten unazad po tome što se ovakvo ustrojavanje nikada ne događa u običnom životu. Ukoliko bi se ipak događalo, proizvođači staklarije ubrzo bi ostali bez posla.

Razlog kojim se obično objašnjava zašto ne vidimo razbijene čaše kako se skupljaju sa poda i skaču natrag na sto jeste taj što se takvom nečemu protivi drugi zakon termodinamike. Prema ovom zakonu, u bilo kom zatvorenom sistemu uvek dolazi do povećanja nereda ili entropije. Drugim rečima, posredi je vid poznatog Marfijevog zakona: 'Stvari uvek teže da se pogoršaju!' Cela čaša na stolu predstavlja stanje visokog reda, dok je razbijena čaša na podu stanje nereda. Lako se može ići od cele čaše na stolu u prošlosti, do razbijene čaše na podu u budućnosti, ali ne i obrnuto.

Povećanje nereda ili entropije sa vremenom jedan je od primera onoga što se naziva strela vremena i čime se pravi razlika između prošlosti i budućnosti, odnosno određuje smer vremena. Postoje najmanje tri različite strele vremena. Tu je, najpre, termodinamička strela vremena, smer vremena u kome se nered ili entropija povećavaju. Zatim je tu psihološka strela vremena. To je smer u kome mi osećamo da vreme protiče, smer u okviru koga pamtimo prošlost, ali ne i budućnost. Konačno, postoji i kosmološka strela vremena. Posredi je smer vremena u sklopu koga se Vaseljena širi, a ne sažima.

U ovom poglavlju ja ću pokazati da se uslovom bezgraničnosti Vaseljene, kao i slabim antropičkim načelom može objasniti zašto sve tri strele pokazuju u istom smeru - štaviše, zašto uopšte mora da postoji potpuno određena strela vremena. Pokazaću da je psihološka strela određena termodinamičkom strelom, kao i da ove

dve stele nužnim načinom pokazuju uvek u istom smeru. Ukoliko se pretpostavi uslov bezgraničnosti Vaseljene, videće se da moraju postojati sasvim određena termodinamička i sasvim određena kosmološka strela vremena, ali one neće pokazivati u istom smeru tokom cele povesti Vaseljene. Ja ću, međutim, pokazati da se jedino onda kada one pokazuju u istom smeru stiču pogodni uslovi za nastanak inteligentnih bića, kadrih da postave sledeće pitanje: 'Zašto se nered povećava u istom smeru u kome se i Vaseljena širi?'

Najpre ću razmotriti termodinamičku strelu vremena. Drugi zakon termodinamike proishodi iz činjenice da uvek postoji znatno više nesređenih, nego sređenih stanja. Primera radi, uzmimo slučaj delova neke slagalice u kutiji. Postoji jedan i samo jedan razmeštaj u kome delovi obrazuju potpunu sliku. Sa druge strane postoji veoma veliki broj razmeštaja u kojima su delovi nepravilno raspoređeni i ne obrazuju sliku.

Zamislimo da neki sistem započne u jednom od malog broja sređenih stanja. Kako vreme protiče, sistem će se razvijati u saglasnosti sa zakonima nauke i njegovo stanje će se menjati. U neko docnije vreme verovatnije je da će se sistem naći u nesređenom nego u sređenom stanju, zato što ima znatno više nesređenih stanja. Ukoliko se protrese kutija, sasvim je izgledno da će se slagalica raspasti i da će se njeni delovi naći u potpunom rasulu u kome ne obrazuju nikakvu sliku. Nered delova verovatno će se povećavati sa vremenom ukoliko delovi zadovolje početni uslov da se na početku nalaze u stanju visokog reda.

Zamislimo da se delovi slagalice na početku nalaze pravilno raspoređeni u kutiji i da obrazuju neku sliku. Ako protresete kutiju, delovi će se naći u drugom rasporedu. To će, po svoj prilici, biti nesređen raspored u kome delovi ne obrazuju pravu sliku, naprosto stoga što postoji premnogo nesređenih rasporeda. Neke grupe delova i dalje mogu da obrazuju sliku, ali što više protresate kutiju tim je verovatnije da će se i ove grupe raspasti, odnosno da će se delovi naći u potpuno haotičnom stanju u kome neće obrazovati nikakvu sliku. Nered delova će se, dakle, verovatno povećavati s vremenom.

Pretpostavimo, međutim, da Bog odluči da se Vaseljena ima okončati jednim stanjem visokog reda, pri čemu je svejedno kakvo je

bilo njeno početno stanje. Sva je prilika da bi se onda Vasseljena u svom osvitu nalazila u nesređenom stanju. Ovo bi značilo da bi se nered smanjivao s vremenom. Tada biste imali prilike da vidite kako se razbijene čaše sastavljaju i skaču na sto. Međutim, svako ljudsko biće koje bi posmatralo ove čaše takođe bi bilo deo Vasseljene u kojoj se nered smanjuje s vremenom. Kod takvih stvorova psihološka strela vremena pokazivala bi unazad. Oni bi se, naime, sećali zbivanja iz budućnosti, a ništa ne bi pamtili iz prošlosti. Kada bi se čaša razbila, oni bi se sećali da se nalazila na stolu, ali kada bi se nalazila na stolu oni se ne bi sećali da je bila razbijena na podu.

Prilično je teško govoriti o ljudskom pamćenju, zato što nismo dovoljno upoznati sa načinom na koji mozak dejstvuje. Dobro nam je, međutim, poznato kako dejstvuje memorija računara. Stoga ću u razmatranjima uzeti u obzir psihološku strelu vremena kod računara. Smatram da je razložno pretpostaviti da je strela vremena kod računara ista kao i kod ljudi. Da to nije slučaj, svako bi se lako mogao obogatiti na berzi pomoću računara koji bi pamtio sutrašnje cene!

U osnovi, memorija nekog računara jeste sredstvo koje sadrži elemente što mogu postojati u jednom od dva stanja. Jednostavan primer je računalo zvano abakus. U svom najprostijem obliku ono se sastoji od izvesnog broja žica. Na kraju svake žice nalazi se kuglica koja se može staviti u jedan od dva položaja. Pre no što neki podatak biva zapamćen u memoriji računara, ona se nalazi u nesređenom stanju, u kome postoje podjednaki izgledi za dva moguća stanja. (Kuglice abakusa razmeštene su bez reda na žicama ovog računala.) Pošto memorija stupi u međudejstvo sa sistemom koji treba upamtiti, njeni elementi će se zacementirati u jednom od dva stanja, već prema opštem stanju sistema. (Svaka kuglica abakusa cementirati će se bilo na levoj ili desnoj žici računala.) Memorija je tako prešla iz stanja nereda u stanje reda. Kako bi se, međutim, došlo do toga da se memorija nalazi u pravom stanju, neophodno je upotrebiti izvesnu količinu energije (da bi se pomerile kuglice, ili da bi kompjuter uopšte radio, na primer). Ova energija se oslobađa u vidu toplote, što povećava količinu nereda u Vasseljeni. Moglo bi se pokazati da je ovo povećanje nereda uvek veće od povećanja reda u samoj memoriji. Prema tome, toplota koju otklanja

ventilator računara znači da kada ovaj zabeleži jedan podatak u memoriju, ukupna količina nereda u Vaseljenu ipak se povećava. Drugim rečima, smer vremena u kome računar pamti prošlost isti je kao i smer vremena u kome se nered povećava.

Naše subjektivno osećanje smera vremena, psihološka strela vremena, određena je, tako, u našim mozgovima termodinamičkom strelom vremena. Baš kao i računar, mi takođe moramo da pamtimo stvari poretkom kojim se entropija povećava. Ovo čini gotovo beznačajnim drugi zakon termodinamike. Nered se povećava sa vremenom zato što merimo vreme u smeru u kome se nered povećava. Ništa u Vaseljenu nije izvesnije od toga!

Ali zašto uopšte postoji termodinamička strela vremena? Ili, drugim rečima, zašto bi se Vaseljena nalazila u stanju visokog reda na jednom kraju vremena, kraju koji mi nazivamo prošlost? Zbog čega nije u stanju potpunog nereda u svim vremenima? Takvo stanje bi, uostalom, izgledalo verovatnije. I zašto je smer vremena u kome se nered povećava isti kao i smer vremena u kome se Vaseljena širi?

U klasičnoj teoriji opšte relativnosti ne može se predvideti kako je Vaseljena počela, zato što svi poznati zakoni nauke prestaju da važe u singularnosti Velikog Praska. Vaseljena je mogla da počne na veoma ravnomeran i sređen način. To bi dovelo do sasvim određene termodinamičke i sasvim određene kosmološke strele vremena, kao što i uočavamo da je slučaj. Ali ona je isto tako mogla početi veoma haotičnim i nesređenim stanjem. U tom slučaju Vaseljena bi se već nalazila u stanju potpunog nereda, tako da se on više ne bi mogao povećavati s vremenom. On bi ili ostao nepromenjen, u kom slučaju ne bi bilo sasvim određene termodinamičke strele vremena, ili bi se smanjivao, a tada bi termodinamička strela vremena pokazivala u suprotnom smeru od kosmološke strele. Nijedna od ovih mogućnosti nije u saglasnosti sa nalazima naših posmatranja. Međutim, kao što smo videli, klasična opšta relativnost predviđa vlastiti krah. Kada zakrivljenost prostorvremena postane velika, do izražaja će doći kvantna gravitaciona dejstva i klasična teorija više neće moći da valjano opiše Vaseljenu. Potrebno je, dakle, primeniti kvantnu teoriju gravitacije da bi se proniklo u to kako je Vaseljena počela.

U kvantnoj teoriji gravitacije, kao što smo videli u prethodnom poglavlju, da bi se odredilo stanje Vaseljene i dalje je potrebno

ustanoviti kako bi se moguće istorije Vaseljene ponašale na granici prostorvremena u prošlosti. Ova nelagodna obaveza opisivanja onoga što ne znamo i što ne možemo znati mogla bi se izbeći jedino ako bi ove istorije zadovoljile uslov bezgraničnosti: da im je, naime, pružanje konačno, ali da nemaju granica, rubova ili singularnosti. U tom slučaju početak vremena predstavljao bi pravilnu, ravnomernu tačku prostorvremena, a Vaseljena bi počela svoje širenje u veoma ravnomernom i sređenom stanju. Ono ne bi moglo biti potpuno jednoobrazno, zato što bi se time narušilo načelo neodeđenosti kvantne teorije. Morale bi da postoje male fluktuacije gustina i brzina čestica. Uslov bezgraničnosti, međutim, nalaže da ove fluktuacije ne budu nimalo veće od onoga što minimalno propisuje načelo neodređenosti.

Vaseljena bi počela razdobljem ekspanzionizma ili 'inflatornog' širenja kojim bi se njena veličina povećavala veoma velikim činocem. Tokom ovog širenja fluktuacije gustine ostale bi male u početku, ali bi kasnije stale da rastu. Kod područja u kojima je gustina nešto iznad proseka došlo bi do usporenja širenja pod dejstvom gravitacionog privlačenja dodatne mase. Konačno, takva područja prestala bi da se šire i kolabirala bi, obrazujući galaksije, zvezde i bića poput nas. Vaseljena bi, dakle, počela u ravnomernom i sređenom stanju, a postajala bi haotična i nesređena s protokom vremena. Ovim bi se objasnilo postojanje termodinamičke strele vremena.

Ali šta bi se dogodilo ako i kada Vaseljena prestane da se širi i počne da se sažima? Da li će se termodinamička strela okrenuti, a nered početi da se smanjuje s vremenom? Ovo bi ljude koji prežive prelazak iz faze širenja u fazu sažimanja suočilo sa svom silom naučnofantastičnih posledica. Da li bi oni videli kako se razbijene čaše sakupljaju sa poda i skaču natrag na sto? Da li bi mogli da se sete sutrašnjih cena i obogate se na berzi? Izgleda prilično akademski brinuti se o onome što može da se dogodi kada Vaseljena bude stala da se sažima, budući da to ionako neće početi da se događa bar još narednih deset hiljada miliona godina. No, postoji jedan brži način da se ustanovi šta će se dogoditi: jednostavno, skočite u crnu rupu. Kolabiranje zvezde koje se okončava crnom rupom prilično nalikuje na završne faze kolabiranja



svekolike Vaseljene. Ako, dakle, nered treba da se smanji u sažimajućoj fazi Vaseljene, može se očekivati da će se on smanjivati i unutar crne rupe. Jedan astronaut koji bi pao u crnu rupu mogao bi da silno zaradi na ruletu setivši se gde je kuglica pala pre no što stavi žetone na sto. (Na žalost, međutim, on se ne bi naigrao, budući da bi uskoro bio petvoren u rezance. Isto tako, ne bi bio u prilici da nas izvesti o okretanju termodinamičke strele, pa čak ni da uloži svoj dobitak u banku, zato što bi se našao u stupici iza horizonta događaja crne rupe.)

U početku, verovao sam da će se nered smanjivati kada Vaseljena počne da kolabira. Bilo je to stoga što sam smatrao da se Vaseljena mora vratiti u ravnomerno i sređeno stanje kada ponovo postane mala. Ovo bi značilo da bi faza sažimanja predstavljala vremenski obrnutu fazu širenja. Ljudi u fazi sažimanja živeli bi svoje živote unazad: oni bi umrli pre no što se rode, postajući sve mlađi kako se Vaseljena sažima.

Ova zamisao je privlačna zato što pretpostavlja zgodnu simetričnost između faze širenja i faze sažimanja. Ona se, međutim, ne može prihvatiti sama po sebi, nezavisno od ostalih ideja o Vaseljenu. Ključno pitanje ovde glasi: da li ona proishodi iz uslova bezgraničnosti ili je nesaglasna sa tim uslovom? Kao što sam rekao, u prvo vreme sam smatrao da iz uslova bezgraničnosti uistinu sledi da će se nered smanjivati u fazi sažimanja. Ovde me je delimično zavela analogija sa površinom Zemlje. Ako se pretpostavi da početak Vaseljene odgovara severnom polu, onda bi kraj Vaseljene bio sličan njenom početku, baš kao što je južni pol sličan severnom. Međutim, severni i južni pol odgovaraju početku i kraju Vaseljenu u imaginarnom vremenu. Početak i kraj u stvarnom vremenu mogu se međusobno veoma razlikovati. Takođe me je zaveo moj rad na jednom jednostavnom modelu Vaseljenu u okviru koga je faza sažimanja ličila na vremenski obrnutu fazu širenja. Međutim, jedan moj kolega, Don Pejdž, sa univerziteta Pen Stejt, ustanovio je da uslov bezgraničnosti ne nalaže da faza sažimanja nužno mora biti vremenski obrnuta od faze širenja. Pored toga, jedan moj student, Rejmond Laflam, našao je da se u neznatno složenijem modelu sažimanje Vaseljenu veoma razlikuje od širenja. Shvatio sam da mi se potkrala greška: iz uslova bezgraničnosti proishodilo je da će

nered, zapravo, nastaviti da se povećava i za vreme sažimanja. Termodinamička i psihološka strela Vremena ne bi se okrenule ni kada Vaseljena počne da se sažima, niti u unutrašnjosti crnih rupa.

Šta vam valja činiti kad ustanovite da ste napravili takvu grešku? Neki ljudi nikada ne priznaju da nisu u pravu i nastavljaju da pronalaze nove, često međusobno nesaglasne argumente u prilog svoje pretpostavke - kao što je to bio slučaj sa Edingtonom, koji se suprotstavljao teoriji o crnim rupama. Drugi tvrde da nikada, u stvari, nisu stajali iza netačnog stanovišta, ili, čak i ako jesu, bilo je to samo stoga da pokažu kako je ono neodrživo. Meni se čini da je znatno bolje, a svakako manje zbunjujuće, ako napismeno priznate da niste bili u pravu. Dobar primer u ovom smislu pružio je Ajnštajn koji je nazvao najvećom greškom u svom životu kosmološku konstantu što ju je sam uveo, pokušavajući da sazda statični model Vaseljene.

Ako se vratimo streli vremena, preostaje nam sledeće pitanje: zašto uočavamo da termodinamička i kosmološka strela vremena pokazuju u istom smeru? Drugim rečima, zašto se nered povećava u istom smeru vremena kao što je i onaj u kome se Vaseljena širi? Ukoliko neko smatra da će se Vaseljena širiti, a potom ponovo sažeti, kako to proishodi iz uslova bezgraničnosti, onda ovo pitanje glasi: 'Zašto smo mi u fazi širenja, a ne u fazi sažimanja?'

Na ovo se može odgovoriti na osnovu slabog antropičkog načela. Uslovi u fazi sažimanja ne bi bili pogodni za postojanje inteligentnih bića kadrih da postave pitanje: 'Zašto se nered povećava u istom smeru vremena u kome se odigrava i širenje Vaseljene?' Inflacija u ranim razdobljima Vaseljene, koju predviđa uslov bezgraničnosti, znači da se ona mora širiti stopom veoma bliskom kritičnoj, na kojoj jedva da izbegava prelazak u sažimanje, te tako do ovoga veoma dugo ne dolazi. Kada ipak dođe, sve zvezde će već sagoreti, a protoni i neutroni u njima verovatno će se raspasti na svetlosne čestice i zračenje. Vaseljena će se tada nalaziti u stanju gotovo potpunog nereda. Neće postojati snažna termodinamička strela vremena. Nered se dalje neće moći značajnije povećavati, zato što će se Vaseljena već nalaziti u stanju gotovo potpunog nereda. Međutim, snažna termodinamička strela neophodna je kako bi inteligentni život mogao da dejstvuje. Da bi opstala, ljudska bića moraju da troše hranu, koja predstavlja sređeni oblik energije, i da je

pretvaraju u toplotu, koja predstavlja nesređeni oblik energije. Shodno tome, inteligentni život ne može da postoji u fazi sažimanja Vaseljene. To je ujedno odgovor na pitanje zašto uočavamo da termodinamička i kosmološka strela vremena pokazuju u istom smeru. Stvar je ne u tome što širenje Vaseljene dovodi do povećanja nereda, već u tome što uslov bezgraničnosti ima za posledicu ovo povećanje, uzrokujući istovremeno da uslovi pogodni za inteligentan život postoje jedino u fazi širenja.

Da rezimiramo: zakoni nauke ne prave razliku između smera 'napred' i smera 'nazad' u vremenu. Postoje, međutim, najmanje tri strele vremena koje razlikuju prošlost od budućnosti. To su: termodinamička strela (smer vremena u kome dolazi do povećanja nereda), psihološka strela (smer vremena u okviru koga se mi sećamo prošlosti, ali ne i budućnosti) i kosmološka strela (smer vremena u kome se Vaseljena širi, a ne sažima). Pokazao sam da je psihološka strela u osnovi ista kao i termodinamička, tako da će njih dve uvek pokazivati u istom smeru. Uslov bezgraničnosti Vaseljene predviđa postojanje sasvim određene termodinamičke strele vremena, zato što Vaseljena mora početi ravnomernim i sređenim stanjem. A razlog što uočavamo da se termodinamička strela slaže sa kosmološkom strelom jeste taj što inteligentna bića mogu postojati jedino u fazi širenja. Faza sažimanja bila bi nepogodna zato što nema snažnu termodinamičku strelu vremena.

Napredovanje ljudske rase u razumevanju Vaseljene vaspostavilo je mali ugao reda u rastućem neredu Vaseljene. Ukoliko biste zapamtili svaku reč iz ove knjige, u vašem pamćenju našlo bi se zabeleženo oko dva miliona delića informacija: red u vašem mozgu povećao bi se za oko dva miliona jedinica. Međutim, dok ste čitali ovu knjigu pretvorili ste najmanje hiljadu kalorija sređene energije, u obliku hrane, u nesređenu energiju toplote koju ste ispuštali u vazduh oko sebe kretanjem i znojenjem. Ovo će povećati nered Vaseljene za oko dvadeset miliona miliona miliona miliona jedinica - ili oko deset miliona miliona miliona puta više nego što se povećao red u vašem mozgu - i to pod uslovom da ste upamtili baš sve u ovoj knjizi. U narednom poglavlju pokušaću da još malo povećam red u našoj okolini time što ću objasniti kako fizičari pokušavaju da povežu

delimične teorije koje sam do sada opisao u jednu celovitu objedinjenu teoriju koja bi obuhvatila sve u Vaseljenu.

## 10. OBJEDINJENJE FIZIKE

Kao što je objašnjeno u prvom poglavlju, bilo bi veoma teško sazdati jednu celovitu objedinjenu teoriju koja bi obuhvatala sve u Vaseljeni. Umesto toga, napredovali smo na taj način što smo postavljali delimične teorije koje su opisivale ograničeni raspon pojava, a zanemarivale ostala dejstva ili im određivale približne vrednosti izvesnim brojevima. (Hemija nam, na primer, omogućuje da izračunavamo međudejstva atoma bez upućenosti u unutrašnje ustrojstvo atomskog jezgra.) U krajnjoj liniji, međutim, očekivalo bi se da se ipak dođe do celovite, koherentne, objedinjene teorije koja bi obuhvatila sve delimične teorije kao približne i koja ne bi trebalo da bude podešavana izborom vrednosti izvesnih proizvoljnih brojeva kako bi bila u saglasnosti sa činjenicama. Traganje za jednom ovakvom teorijom poznato je kao 'objedinjenje fizike'. Ajnštajn je svoje pozne godine života proveo u neuspešnom traganju za objedinjenom teorijom, ali vreme za nju tada još nije bilo zrelo: postojale su, doduše, delimične teorije gravitacije i elektromagnetne sile, ali je veoma malo bilo poznato o nuklearnim silama. Osim toga, Ajnštajn je odbijao da prihvati valjanost kvantne mehanike, iako je sam odigrao značajnu ulogu u njenom razvoju. Kako izgleda, međutim, načelo neodređenosti predstavlja temeljno svojstvo Vaseljene u kojoj mi obitavamo. Uspešna objedinjena teorija mora, dakle, nužnim načinom da obuhvati i ovo načelo.

Kao što ću pokazati, izgledi da se postavi jedna ovakva teorija sada su mnogo bolji, zato što su naša znanja o Vaseljeni znatno veća. No, moramo se čuvati prekomerne samouverenosti koja nas je u prošlosti često upućivala u ćorsokake! Na početku ovog stoleća, na primer, smatralo se da se sve može objasniti iz perspektive svojstava neprekidne materije, kao što su elastičnost i provodljivost toplote. Otkrića građe atoma i načela neodređenosti namah su raspršila ovu zabludu. A onda, ponovo, fizičar i dobitnik Nobelove nagrade Maks Born izjavio je, 1928, jednoj skupini posetilaca Getingenskog univerziteta: 'Sa fizikom koju mi poznajemo biće gotovo za šest meseci.' Njegova samouverenost zasnivala se na skorašnjem Dirakovom otkriću jednačine koje upravlja elektronom.

Mislilo se da neka slična jednačina upravlja protonom, koji je bio druga od dve poznate čestice u to vreme, što će ujedno predstavljati kraj teorijske fizike. No, otkriće neutrona i nuklearnih sila ubrzo je obesnažilo ovu tvrdnju. Uprkos svemu ovome, međutim, ja ipak verujem da ima razloga za oprezni optimizam i da se sada nalazimo na samom pragu otkrića konačnih zakona prirode.

U prethodnim poglavljima opisao sam opštu relativnost, delimičnu teoriju gravitacije, kao i delimične teorije koje opisuju slabu, jaku i elektromagnetnu silu. Poslednje tri mogu se obuhvatiti takozvanim velikim objedinjenim teorijama, ili VOT-ima, koje nisu sasvim zadovoljavajuće zato što ne obuhvataju gravitaciju i zato što sadrže izvestan broj svojstava, kao što su relativne mase raznih čestica, koje se ne mogu predvideti teorijom, već se moraju tako odabrati da budu u saglasnosti sa rezultatima posmatranja. Glavna poteškoća u pokušajima da se postavi teorija koja povezuje gravitaciju sa ostalim silama ogleda se u tome što je opšta relativnost 'klasična' teorija; drugim rečima, ona ne obuhvata načelo neodređenosti kvantne mehanike. Sa druge strane, ostale delimične teorije na suštinski način zavise od kvantne mehanike. Neophodan prvi korak jeste, dakle, da se dovedu u vezu opšta relativnost i načelo neodređenosti. Kao što smo videli, ovo može da ima neke izuzetne posledice, kao što je ona da crne rupe ne budu crne i da Vasseljena nema nikakvih singularnosti, već da je potpuno samosvojna i bez granica. Nevolja je, međutim, u tome, kao što sam objasnio u sedmom poglavlju, što iz načela neodređenosti proishodi da je čak i 'prazan' prostor ispunjen parovima virtuelnih čestica i antičestica. Ovi parovi imali bi beskrajnu količinu energije, pa stoga, prema Ajnštajnovoj znamenitoj jednačini,  $E = mc^2$ , imali bi i beskrajnu masu. Njihovo gravitaciono privlačenje zakrivilo bi stoga Vasseljenu do beskrajno male veličine.

Slično tome, prividno besmislene beskonačnosti javljaju se i u drugim delimičnim teorijama, ali u svim tim slučajevima ove beskonačnosti mogu se potrti jednim procesom koji se naziva renormalizacija. On pretpostavlja ukidanje beskonačnosti uvođenjem novih beskonačnosti. Iako je ovaj postupak matematički prilično sumnjiv, on, kako izgleda, dejstvuje u praksi i korišćen je kod ovih teorija da bi se došlo do predviđanja koja se izuzetno slažu sa nalazima posmatranja. Renormalizacija, međutim, ima jedan

izuzetan nedostatak iz perspektive pokušaja da se postavi celovita teorija, budući da proishodi da se stvarne vrednosti masa i snaga sila ne mogu predvideti teorijom, već ih valja izabrati tako da se poklope sa nalazima posmatranja.

U nastojanjima da se opštom relativnošću obuhvati i načelo neodređenosti postoje samo dva svojstva koja se mogu podešavati: snaga gavitacije i vrednost kosmološke konstante. No, podešavanje ovih svojstava nije dovoljno da bi se uklonile sve beskonačnosti. I tako, dobijamo teoriju koja, kako izgleda, predviđa da su određena svojstva, kao što je zakrivljenost prostorvremena, beskonačna, dok mi posmatranjima i merenjima ustanovljavamo da su ona savršeno konačna! Već se duže podozrevalo da postoji ovaj problem pri povezivanju opšte relativnosti i načela neodređenosti, ali on je konačno potvrđen detaljnim izračunavanjima 1972. Četiri godine kasnije predloženo je jedno moguće rešenje - takozvana 'supergravitacija'. Zamisao se ogledala u tome da se poveže čestica sa spinom 2, nazvana graviton, koja nosi gravitacionu silu, sa izvesnim drugim novim česticama sa spinom  $3/2$ ,  $1$ ,  $1/2$  i  $0$ . U izvesnom smislu, sve ove čestice mogle bi se tada smatrati za različite vidove iste 'superčestice', čime bi se objedinile materijalne čestice sa spinom  $1/2$  i  $3/2$  i čestice koje nose silu sa spinom  $0$ ,  $1$  i  $2$ . Virtuelni parovi čestica-antičestica sa spinom  $1/2$  i  $3/2$  imali bi negativnu energiju i težili bi stoga da potru pozitivnu energiju spina  $2$ ,  $1$  i  $0$  virtuelnih parova. Ovo bi dovelo do potiranja mnogih mogućih beskonačnosti, ali se ipak pretpostavljalo da bi se neke zadržale. Proračunavanja neophodna da bi se ustanovilo da li bi neke beskonačnosti ostale nepotrne bila bi, međutim, tako duga i teška da niko nije želeo da ih se lati. Čak i pomoću kompjutera smatralo se da bi na njih otišle pune četiri godine, a bilo je veoma verovatno da bi se negde potkrala bar jedna greška, a po svoj prilici i više njih. Znalo bi se, dakle, da se došlo do tačnog odgovora jedino ako bi još neko izvršio proračunavanje i dobio isti rezultat, ali to nije izgledalo odveć verovatno!

Uprkos problemima, kao i činjenici da se čestice u teorijama o supergravitaciji ne podudaraju sa česticama koje stvarno registrujemo, većina naučnika je smatrala da je supergravitacija po svoj prilici pravo rešenje problema objedinjenja fizike. Bio je to, kako

izgleda, najbolji način da se gravitacija dovede u vezu sa ostalim silama. No, 1984. došlo je do značajne promene stanovišta u korist onoga što je dobilo naziv teorija struna. U ovim teorijama, osnovni objekti nisu čestice, koje zauzimaju pojedinačne tačke prostora, već veličine koje imaju dužinu, ali ne i druge dimenzije, slično kakvoj beskrajno tankoj struni. Ove strune mogu imati krajeve (takozvane otvorene strune) ili ti krajevi mogu biti spojeni, obrazujući svojevrsne omče (zatvorene strune). (Ilus. 10.1 i 10.2) Jedna čestica zauzima jednu tačku u prostoru u svakom trenutku vremena. Njena istorija, dakle, može biti predstavljena linijom u prostorvremenu ('svetska linija'). Jedna struna, sa druge strane, zauzima jednu duž u prostoru u svakom trenutku vremena. Njena istorija u prostorvremenu, dakle, jeste dvodimenziona površina koja se naziva 'svetska ravan'. (Svaka tačka na takvoj svetskoj plohi može se opisati dvama brojevima: prvi određuje vreme, a drugi položaj tačke na struni.) Svetska ploha jedne otvorene strune jeste pojas; njegove ivice predstavljaju putanje krajeva strune kroz prostorvreme (Ilus. 10.1). Svetska ploha zatvorene strune jeste valjak ili cev (Ilus. 10.2). Poprečni presek ove cevi jeste krug koji predstavlja položaj strune u nekom određenom vremenu.

Dve strune se mogu spojiti, pri čemu obrazuju jedinstvenu novu strunu; u slučaju otvorenih struna, one se naprosto spoje na krajevima (Ilus. 10.3), dok u slučaju zatvorenih struna imamo situaciju kao kod pantalona, gde se dve nogavice spajaju u jedinstven deo (Ilus. 10.4). Slično tome, jedna struna može se podeliti u dve. U teorijama struna, ono što se prethodno smatralo za čestice sada se predstavlja u vidu talasa koji se kreću niz strunu, poput talasa na vibrirajućem užetu na kome se pušta zmaj od hartije. Emitovanje ili apsorbovanje jedne čestice od strane druge odgovara deljenju ili spajanju struna. Primera radi, gravitaciona sila Sunca na Zemlji prikazivana je u teoriji čestica tako kao da je posredi emitovanje gravitacije od strane jedne čestice u Suncu i njeno apsorbovanje od strane jedne čestice u Zemlji (Ilus. 10.5). U teoriji struna, ovaj proces odgovara jednoj cevi u obliku slova 'H' (Ilus. 10.6). (Teorija struna na izvestan način prilično nalikuje cevovodu.) Dve okomite strane slova 'H' odgovaraju česticama na Suncu i na Zemlji, dok poprečni vodoravni deo odgovara gravitaciji koja se



kreće između njih.

Teorija struna ima neobičnu istoriju. Ona je prvobitno postavljena u poznim šezdesetim godinama prilikom pokušaja da se dođe do teorije koja bi opisala jaku silu. Zamisao se ogledala u tome da se čestice poput protona i neutrona mogu smatrati za talase na struni. Jake sile između čestica tu bi odgovarale strunama koje se poprečno pružaju preko ostalih struna, slično kao niti kod paučine. Da bi se ova teorija poklopila sa zabeleženom vrednošću jake sile između čestica, ove strune trebalo je da budu poput gumenih traka kadrih da izdrže silu rastezanja od oko deset tona.

Godine 1974, Žoel Šerk iz Pariza i Džon Švarc iz Kalifornijskog tehnološkog instituta objavili su rad u kome su pokazali da bi teorija struna mogla da opiše gravitacionu silu, ali samo ako bi napetost struna bila znatno veća, oko hiljadu miliona miliona miliona miliona miliona miliona tona (jedinica iza koje se pruža niz od trideset devet nula). Predviđanja teorije struna tada bi bila istovetna sa onima koje proishode iz opšte relativnosti, u normalnim razmerama dužine, ali bi se razlikovala na veoma malim udaljenostima, manjim od jednog hiljadu milion milion milion milion milionitog dela centimetra (jedan centimetar podeljen brojem koji se označava jedinicom sa nizom od trideset tri nule iza nje). Ovaj rad nije privukao veću pažnju, međutim, zato što je upravo u to vreme većina fizičara napustila prvobitnu teoriju struna jake sile u korist teorije zasnovane na kvarkovima i gluonima, koja se, kako je izgledalo, bolje slagala sa nalazima posmatranja. Šerk je umro pod tragičnim okolnostima (bolovao je od dijabetesa i pao je u komu u času kada oko njega nije bilo nikog da mu da injekciju insulina). Tako je Švarc ostao kao gotovo jedini zagovornik teorije struna, ali sada sa znatno većom predloženom vrednošću njihove napetosti.

Godine 1984. iznenada je oživljeno zanimanje za strune, kako je izgledalo iz dva razloga. Prvi je bio taj što fizičari nisu odveć odmakli u pokušajima da pokažu kako je supergravitacija konačna, odnosno da može da objasni one vrste čestica koje mi beležimo. Drugi je bio objavljivanje jednog rada Džona Švarca i Majka Grina iz londonskog koledža Kvin Meri, u kome je pokazano da bi teorija struna mogla da objasni postojanje čestica koje imaju levosmernu rotaciju, kao što je to slučaj sa nekim česticama koje registrujemo. Bili su to dovoljni

povodi da veliki broj fizičara uskoro počne da radi na teoriji struna, tako da je nedugo potom postavljena jedna njena nova verzija, takozvana teorija heterotičkih struna, za koju se poverovalo da bi možda mogla da objasni tipove čestica koje smo dosad registrovali.

U teorijama struna takođe se javljaju beskonačnosti, ali smatra se da će se sve one potrti u verziji poput ove o heterotičkim strunama (premda stvar još nije sasvim pouzdana). Teorije struna se, međutim, suočavaju sa jednom većom poteškoćom: kako izgleda, one su koherentne jedino pod uslovom da prostorvreme ima ili deset ili dvadeset šest dimenzija, umesto uobičajenih četiri! Razume se, dodatne dimenzije prostorvremena predstavljaju opšte mesto u naučnoj fantastici; štaviše, one su tu gotovo nužnost, budući da bi, u protivnom, činjenica da iz relativnosti proishodi da su nemoguća putovanja brža od svetlosti značila da bi prevaljivanje razdaljina između zvezda i galaksija trajalo predugo. Da bi se ovome nekako doskočilo, u naučnoj fantastici javila se zamisao o tome da je možda moguće poslužiti se prečicom kroz neku višu dimenziju. Stvar se ovde može predočiti na sledeći način. Zamislimo da prostor u kome živimo ima samo dve dimenzije i da je zakrivljen poput kakvog kotura ili torusa (Ilus. 10.7). Ako biste se našli sa jedne strane unutrašnje ivice prstena i želeli da stignete na neku tačku sa druge strane, morali biste da prevalite put duž unutrašnje ivice. Ukoliko biste, međutim, bili kadri da se krećete trećom dimenzijom mogli biste pravolinijski da prevalite razdaljinu između dve tačke.

Zašto ne zapažamo sve ove dodatne dimenzije, ako one uistinu postoje? Zašto vidimo jedino tri prostorne i jednu vremensku dimenziju? Prema jednoj zamisli, druge dimenzije zakrivljene su u prostor veoma malih razmera, negde oko jednog milion milion milion milionitog dela inča. To je toliko malo da mi naprosto stvar ne primećujemo, već vidimo jednu vremensku i tri prostorne dimenzije, u kojima je prostorvreme prilično ravno. Ovo je slično površini neke pomorandže: ako je pomno zagledate, primetićete da je sva smežurana i naborana, ali ako je posmatrate sa udaljenosti ne vidite ove neravnine i ona vam izgleda glatka. Isto je tako i sa prostorvremenom: u veoma malim razmerama, ono je desetodimenziono i veoma zakrivljeno, ali u većim razmerama ne vide se ove zakrivljenosti dodatnih dimenzija. Ukoliko je ova

predstava ispravna, onda se loše piše nesuđenim putnicima kroz kosmos: dodatne dimenzije bile bi daleko premale da bi kroz njih mogao proći jedan kosmički brod. No, ovde iskrsava jedan novi veliki problem. Zašto su samo neke, a ne i sve dimenzije savijene u malu loptu? Po svoj prilici, u veoma ranoj Vaseljeni sve dimenzije bile su izuzetno zakrivljene. Zašto su se, međutim, jedna vremenska i tri prostorne dimenzije izravnale, dok su ostale ostale savijene?

Jedan mogući odgovor jeste antropičko načelo. Dve prostorne dimenzije nisu, kako izgleda dovoljne za nastanak složenih bića kakva smo mi. Primera radi, dvodimenzione životinje koje bi živele na jednodimenzionoj Zemlji morale bi da se penju jedna na drugu kako bi prošle jedna pored druge. Ako bi neko dvodimenziono stvorenje pojelo nešto što ne bi moglo potpuno da svari ono bi ostatke moralo da izbaci kroz isti otvor gde je progutalo hranu, zato što bi, ukoliko bi postojao još jedan otvor sa suprotne strane tela, stvorenje bilo razdvojeno na dve polovine; naše dvodimenziono stvorenje tako bi se raspalo (Ilus. 10.8). Slično tome, teško je razabrati kako bi mogao da postoji krvotok u jednom dvodimenzionom biću.

Poteškoće bi se javile i sa više od tri prostorne dimenzije. Gravitaciono privlačenje između dva tela opadalo bi brže sa udaljenošću nego što je to slučaj u tri dimenzije. (U tri dimenzije gravitaciona sila pada na  $1/4$  ukoliko se udvostruči razdaljina. U četiri dimenzije ona bi pala na  $1/8$ , u pet dimenzija na  $1/16$  i tako dalje.) Značaj ove okolnosti ogleda se u tome da bi orbite planeta, kao što je Zemlja, oko Sunca bile nestabilne: i najmanji poremećaj kružne orbite (do čega bi moglo da dovede gravitaciono privlačenje drugih planeta) imalo bi za posledicu da Zemlja počne da se spiralno udaljava od naše zvezde ili da se sunovrati ka njoj. U tom slučaju mi bismo se ili posmrzavali ili bismo izgoreli. Osim toga, novi odnos između gravitacije i razdaljine u više od tri prostorne dimenzije značio bi da Sunce ne bi moglo da postoji u stabilnom stanju u kome se pritisak javlja kao protivteža gravitaciji. Ono bi se ili raspalo ili bi kolabiralo i postalo crna rupa. U oba slučaja ne bi bilo od velike koristi kao izvor toplote i svetlosti za život na Zemlji. U manjim razmerama, električne sile koje nagone elektrone da orbitiraju oko jezgra u atomu ponašale bi se na isti način kao i gravitacione sile.

Prema tome, elektroni bi se ili potpuno odvojili od atoma ili bi se zavojito sunovratili u jezgro. U oba slučaja ne bismo imali atome kakve mi poznajemo.

Izgleda sasvim izvesno da život, bar onaj za koji mi znamo, može da postoji jedino u onim područjima prostorvremena u kojima jedna vremenska i tri prostorne dimenzije nisu savijene u male razmere. Ovo bi značilo da bismo se mogli osloniti na slabo antropičko načelo, pod uslovom da se može pokazati da teorija struna dopušta postojanje takvih područja Vaseljene - što ona, kako izgleda, uistinu i dopušta. Nije isključeno da postoje i druga područja Vaseljene, ili druge Vaseljene (ma šta to značilo), u kojima su sve dimenzije savijene u male razmere ili u kojima je više od četiri dimenzije gotovo ravno, ali u takvim oblastima ne bi bilo inteligentnih bića koja bi posmatrala različiti broj efektivnih dimenzija.

Pored pitanja broja dimenzija koje prostorvreme ima, teorija struna suočava se sa još nekoliko pitanja koja se moraju rešiti pre no što ona eventualno bude prihvaćena kao konačna objedinjena teorija fizike. Mi još ne znamo da li se sve beskonačnosti međusobno potiru, niti kako tačno dovesti u vezu talase na struni sa posebnim tipovima čestica koje registrujemo. Međutim, sva je prilika da će se do odgovora na ova pitanja doći u toku nekoliko narednih godina, odnosno da ćemo do kraja stoleća znati da li je teorija struna uistinu dugo tražena objedinjena teorija fizike.

Ali da li uopšte može da postoji takva jedna objedinjena teorija? Ili se možda mi nalazimo u potrazi za jednom fatamorganom? Kako izgleda, postoje tri mogućnosti:

- 1) Uistinu postoji celovita objedinjena teorija, koju ćemo jednoga dana otkriti ako budemo dovoljno mudri.
- 2) Ne postoji konačna teorija Vaseljene, već samo beskrajni niz teorija koje sve tačnije opisuju Vaseljenu.
- 3) Ne postoji teorija Vaseljene; događaji se ne mogu predviđati preko određene granice, budući da tu počinju da se odigravaju na nasumičan i proizvoljan način.

Neki autori smatraju da je najizglednija treća mogućnost, budući da bi postojanje celovitog skupa zakona ograničilo slobodu Boga da se predomišlja i upliviše na svet. Posredi je varijanta starog paradoksa: može li Bog napraviti kamen koji bi bio toliko težak da ga ni on sam

ne bi mogao podići? Ali zamisao o Bogu koji bi se predomišljao predstavlja primer zablude zamišljanja Boga kao bića koje postoji u vremenu, na šta je ukazao još sveti Augustin: vreme je svojstvo jedino Vaseljene koju je Bog stvorio. A on je valjda znao šta hoće kada ju je stvarao!

Razvoj kvantne mehanike pomogao nam je da uvidimo da se događaji ne mogu predvideti sasvim precizno, već da uvek postoji izvestan stepen neodređenosti. To bi se, ukoliko se nekome tako sviđa, moglo pripisati nasumičnosti Božjeg upliva, ali takav upliv bio bi veoma neobičan: ništa ne ukazuje na to da iza njega stoji nekakva svrha. Jer da stoji, ona po definiciji ne bi bila nasumična. U modernim vremenima, mi smo delotvorno uklonili treću mogućnost na taj način što smo predefinisali zadatak nauke: naš cilj je da formulišemo skup zakona koji bi nam omogućio da predviđamo događaje do one granice koju postavlja načelo neodređenosti.

Druga mogućnost - da, naime, postoji beskrajni niz sve savršenijih teorija - u saglasnosti je sa svim našim dosadašnjim iskustvima. U mnogo navrata povećavali smo osetljivost naših merenja ili uvodili novu klasu posmatranja, samo da bismo otkrili nove pojave koje nije predviđala postojeća teorija i za čije je objašnjenje valjalo postaviti usavršeniju teoriju. Ne bi stoga bilo odveć iznenađujuće ako bi iz sadašnje generacije velikih objedinjenih teorija pogrešno proishodilo da se ništa suštinski novo neće dogoditi između elektroslabe energije objedinjenja od oko 100 GeV i velike energije objedinjenja od oko hiljadu miliona miliona GeV. I odista, sasvim bismo mogli očekivati da pronađemo više novih slojeva ustrojstva koji bi bili osnovniji od kvarkova i elektrona za koje danas smatramo da predstavljaju 'elementarne' čestice.

Kako izgleda, međutim, gravitacija bi mogla da postavi granicu ovom nizu 'kutija u kutijama'. U slučaju čestice sa energijom iznad onoga što se naziva Plankova energija, a što iznosi deset miliona miliona miliona GeV (jedinica iza koje se pruža niz od devetnaest nula), njena masa bila bi tako zbijena da bi se ona naprosto odvojila od ostatka Vaseljene i obazovala malu crnu rupu. Shodno tome, izgleda da niz sve savršenijih teorija mora da se suoči sa nekom granicom kako idemo ka sve višim energijama, što znači da bi trebalo da postoji neka konačna teorija Vaseljene. Razume se, Plankova

energija nalazi se veoma daleko od energija od oko stotinak GeV koliko smo mi najviše u stanju da proizvedemo danas u laboratorijama. Ovaj raspon nećemo premostiti akceleratorima čestica u doglednoj budućnosti! Najranija razdoblja Vaseljene, međutim, predstavljaju arenu gde su se takve energije mogle javljati. Ja smatram da postoje dobri izgledi za to da će nas izučavanje rane Vaseljene i neophodnost matematičke koherentnosti dovesti do celovite objedinjene teorije još za života nekih od nas danas, a sve to ponovo pod pretpostavkom da sami sebe ne uništimo u međuvremenu.

Šta bi to značilo ako uistinu dođemo do otkrića krajnje teorije Vaseljene? Kao što je bilo objašnjeno u prvom poglavlju, nikada ne bismo mogli da budemo sasvim sigurni da smo uistinu došli do tačne teorije, budući da teorije ne mogu biti dokazane. Ali ako bi teorija bila matematički koherentna i uvek davala predviđanja koja bi se slagala sa nalazima posmatranja, imali bismo puno razloga za verovanje da je ona valjana. Time bi bilo okončano dugo i slavno poglavlje u istoriji čovekovih intelektualnih nastojanja da dokuči Vaseljenu. Ali to bi takođe revolucionisalo laičko razumevanje zakona koji upravljaju Vaseljenom. U Njutново vreme bilo je moguće da jedna obrazovana osoba stekne predstavu o svekolikom ljudskom znanju, bar u glavnim crtama. Ali potonji ritam razvoja nauke sasvim je onemogućio tako nešto. Budući da se teorije stalno preinačuju kako bi objasnile nova posmatranja, one nikada nisu prikladno sažete ili pojednostavljene kako bi ih laici razumeli. Potrebno je da budete stručnjak, pa čak se i tada možete samo nadati da ste pronikli u jedan maleni deo naučnih teorija. Dalje, ritam napredovanja je tako brz da je ono što se uči u školi ili na univerzitetu uvek manje ili više zastarelo. Tek retki naučnici uspevaju da drže korak sa hitrim pomicanjem granica znanja, morajući pri tom da posvete tome sve svoje vreme i da se specijalizuju na nekom uskom području. Ostali deo populacije gotovo da nema nikakvu predstavu o razvoju koji je u toku, niti o uzbuđenjima koja on izaziva. Pre sedamdeset godina, ako je verovati Edingtonu, samo su dva čoveka shvatala opštu teoriju relativnosti. Danas je shvata na desetine hiljada diplomiranih studenata, a mnogo miliona ljudi bar je okvirno upoznato sa ovom idejom. Ukoliko bi došlo do otkrića celovite objedinjene teorije,

predstavljalo bi samo stvar vremena pre no što bi ona bila sažeta i pojednostavljena na isti način i predavana u školama, bar u osnovnim crtama. Tada bismo svi bili u prilici da u izvesnoj meri shvatimo zakone koji vladaju Vaseljenom i koji su odgovorni za naše postojanje.

Čak i ako otkrijemo celovitu objedinjenu teoriju, to ne bi značilo da bismo bili u stanju da predviđamo događaje uopšte - i to iz dva razloga. Prvi se odnosi na ograničenje koje pred naše moći predviđanja postavlja načelo neodređenosti kvantne mehanike. Ne postoji nikakav način na koji se ono može izbeći. U praksi, međutim, ovo prvo ograničenje manje je sputavajuće od drugoga koje proishodi iz činjenice da ne bismo mogli tačno da rešavamo jednačine teorije, izuzev u veoma jednostavnim situacijama. (Mi nismo u stanju da izračunamo čak ni situaciju sa tri tela u Njutnovoju teoriji gravitacije, a poteškoće se samo umnožavaju sa povećanjem broja tela i složenosti teorije.) Već znamo zakone koji upravljaju ponašanjem materije pod svim uslovima osim onih krajnjih. Naročito smo dobro upućeni u osnovne zakone koji stoje u temelju svekolike hemije i biologije. No, ovo nipošto ne znači da smo ove oblasti sveli na status rešenih problema; za sada smo imali malo uspeha u predviđanju ljudskog ponašanja na osnovu matematičkih jednačina! Prema tome, čak i ako pronađemo potpuni skup osnovnih zakona, u potonjim godinama i dalje će postojati izazovni intelektualni zadaci usavršenja aproksimacionih metoda, što bi trebalo da nam omogući korisno predviđanje verovatnih ishoda u složenim i stvarnim situacijama. Celovita, koherentna, objedinjena teorija samo je prvi korak: naš krajnji cilj je potpuno razumevanje pojava koje nas okružuju, kao i našeg vlastitog postojanja.

## 11. ZAKLJUČAK

Obitavamo u čudesnom svetu. Nastojimo da proniknemo u smisao onoga što vidimo oko sebe i postavljamo sebi pitanje: kakva je priroda Vaseljene? Kakvo je naše mesto u njoj, odakle ona potiče i odakle mi potičemo? Zašto je ona upravo onakva kakva jeste?

Da bismo došli do odgovora na ova pitanja, gradimo 'slike sveta'. Baš kao što je beskrajni niz kornjača koje nose ravnu Zemlju takva jedna slika, isto važi i za teoriju o superstrunama. U oba slučaja posredi su teorije o Vaseljenu, premda je potonja znatno preciznija i zasnovanija na matematici od prve. I jednoj i drugoj teoriji, međutim, nedostaje potpora proistekla iz posmatranja: niko još nije video džinovsku kornjaču sa Zemljom na leđima, ali isto tako niko još nije video jednu superstrunu. Međutim, teorija o kornjačama ne može da bude valjana naučna teorija zato što predviđa da bi ljudi trebalo da padnu sa ruba sveta. Ovo je potpuno protivno iskustvu, osim ako se ne ispostavi da je taj usud snašao ljude za koje se pretpostavlja da su iščezli u bermudskom trouglu!

Najraniji teorijski pokušaji da se opiše i objasni Vaseljenu temeljili su se na zamisli da događaje i prirodne pojave kontrolišu duhovi sa ljudskim osećanjima koji se ponašaju, baš kao i mi, na krajnje nepredvidljiv način. Ti duhovi obitavali su u prirodnim objektima, kao što su reke i planine, računajući tu i nebeska tela, poput Sunca i Meseca. Njih je valjalo umilostiviti i tako steći njihovu naklonost kako bi se obezbedili plodnost tla i smenjivanje godišnjih doba. Postepeno, međutim, zacelo je uočavano da postoje izvesne pravilnosti: Sunce je uvek izazilo na istoku, a zalazilo na zapadu, bez obzira na to da li je prethodno prineta neka žrtva bogu Sunca. Osim toga, Sunce, Mesec i planete kretali su se po nebeskom svodu sasvim određenim putanjama koje su se unapred mogle prilično tačno predvideti. Sunce i Mesec mogli su i dalje biti bogovi, ali ti bogovi su se pokoravali strogim zakonima, naizgled bez ikakvog izuzetka, ukoliko se ne računaju priče poput one o Suncu koje je stalo zbog Isusa Navina.

U početku su ove pravilnosti i zakoni bili očigledni jedino u astronomiji i u nekoliko retkih drugih situacija. Kako se, međutim,



civilizacija razvijala, a naročito u poslednjih tri stotine godina, otkrivano je sve više pravilnosti i zakona. Uspešnost ovih zakona navela je Laplasa da početkom devetnaestog stoleća postavi temelje naučnog determinizma, odnosno da izloži zamisao o tome da bi, ukoliko se zna ustrojstvo Vaseljene u jednom trenutku, bilo moguće odrediti njen potonji razvoj na osnovu niza pouzdanih zakona.

Laplasov determinizam bio je nepotpun u dva pogleda. On nije govorio ništa o tome kako te zakone treba odabrati i nije određivao početno ustrojstvo Vaseljene. To je bilo prepušteno Bogu. Na Bogu je bilo da odabere kako će Vaseljena početi i kojim će se zakonima pokoravati, ali on više ne bi vršio nikakve uplive pošto udari temelje sveta. U stvari, Bog je tu bio ograničen na područja koja nauka iz devetnaestog stoleća nije razumela.

Mi danas znamo da se Laplasove nade u determinizam nisu mogle ostvariti, bar ne u onom vidu koji je on imao na umu. Iz načela neodređenosti kvantne mehanike proishodi da se određeni parovi svojstava, kao što su položaj i brzina neke čestice, ne mogu istovremeno predvideti uz potpunu tačnost.

Kvantna mehanika rešava ovu situaciju klasom kvantnih teorija u okviru kojih čestice nemaju sasvim određene položaje i brzine, već bivaju predstavljene u vidu talasa. Ove kvantne teorije su determinističke u smislu da pružaju zakone za razvoj talasa u vremenu. Shodno tome, ako je poznat talas u jednom trenutku, može se izračunati njegova vrednost u bilo kom drugom. Nepredvidljivi, nasumični elemenat stupa u dejstvo jedino kada pokušavamo da protumačimo talas iz perspektive položaja i brzina čestica. Ali možda je ovde posredi naša greška: možda uopšte ne postoje položaji i brzine čestica, već samo talasi. Možda to mi samo pokušavamo da uklopimo talase u naše apriorne predstave o položajima i brzinama. Zbrka koja odatle proishodi predstavlja uzrok prividne nepredvidljivosti.

U stvari, predefinisali smo zadatak nauke tako da on bude ustanovljenje zakona koji će nam omogućiti da predviđamo zbivanja sve do same granice koju postavlja načelo neodređenosti. Ostaje, međutim, jedno pitanje: kako su ili zašto bili odabrani zakoni i početno stanje Vaseljene?

U ovoj knjizi ja sam posebnu pažnju posvetio zakonima koji

upravljaju gravitacijom, budući da je gravitacija sila koja oblikuje Vaseljenu u makrokosmičkim razmerama, iako je ona najslabija od četiri kategorije sila. Zakoni gravitacije bili su nesaglasni sa stanovištem koje je bilo na snazi sve donedavno i prema kome je Vaseljena nepromenljiva u vremenu: okolnost da gravitacija uvek deluje privlačno nalaže da se Vaseljena mora nalaziti ili u stanju širenja ili u stanju sažimanja. Prema opštoj teoriji relativnosti, jednom u prošlosti moralo je postojati stanje beskrajne gustine, Veliki Prask, koji je, zapravo, predstavljao pravi početak vremena. Slično tome, ako bi svekolika Vaseljena stala da kolabira, u budućnosti bi se ponovo javilo stanje beskrajne gustine, Veliko Sažimanje, koje bi ujedno donelo kraj vremena. Čak i ukoliko ne dođe do kolabiranja svekolike Vaseljene, singularnosti bi se javile u svim lokalnim područjima koja su kolabirala do stanja crnih rupa. Te singularnosti donele bi kraj vremena svakome ko bi pao u neku crnu rupu. Kod Velikog Praska i ostalih singularnosti došlo bi do poništenja svih zakona, tako da bi Bog ponovo imao potpuno određene ruke da izabere šta će se dogoditi i kako da opet Vaseljena počne.

Dovedemo li u vezu kvantnu mehaniku i opštu relativnost, ukazuje se, kako izgleda, jedna nova mogućnost koje ranije nije bilo: prostor i vreme, naime, zajedno mogu obrazovati jedan konačan, četvorodimenzioni kosmos bez singularnosti ili granica, sličan površini Zemlje, ali sa više dimenzija. Iz perspektive ove zamisli mogla bi se objasniti mnoga uočena svojstva Vaseljene, kao što je njena makrokosmička jednoobraznost, odnosno mikrokosmička odstupanja od homogenosti, kao što su galaksije, zvezde, pa čak i ljudska bića. Time bi se čak moglo pružiti objašnjenje za smer vremena koji uočavamo. Ali ako je Vaseljena potpuno samosvojna, bez singularnosti ili granica, i potpuno opisana objedinjenom teorijom, onda odatle proishode duboke implikacije o ulozi Boga kao Tvorca.

Ajnštajn je jednom postavio pitanje: 'Kakav je izbor Bog imao prilikom sazdanja Vaseljene?' Ako je tačna pretpostavka o nepostojanju granica, onda on nije imao nikakvu slobodu prilikom odabiranja početnih uslova. On bi, razume se, i dalje imao određene ruke u pogledu izbora zakona kojima bi se Vaseljena pokoravala. To, međutim, uopšte ne bi bio neki naročiti izbor; nije, naime, isključeno

da postoji samo jedna, ili u najboljem slučaju neki mali broj celovitih objedinjenih teorija, kakva je, na primer, teorija heterotičkih struna, koje se odlikuju unutarnjom saglasnošću i dopuštaju postojanje tako složenih ustrojstava kao što su ljudska bića koja su kadra da ispituju zakone Vaseljene i postavljaju pitanja o prirodi Boga.

Čak i ako postoji samo jedna moguća objedinjena teorija, ona nije ništa drugo do niz pravila i jednačina. Šta je, međutim, to što udahnuje plamen u jednačine i sazda Vaseljenu koju će one opisati? Iz perspektive uobičajenog naučnog pristupa građenju nekog matematičkog modela, nije moguće odgovoriti na pitanje zašto uopšte postoji Vaseljena koju bi taj model opisao. Zašto bi se Vaseljena uopšte upuštala u to da postoji? Da li je objedinjena teorija tako svemoćna da sama dovodi do svog postojanja? Ili joj je, možda, potreban neki tvorac, a ako jeste, ima li on bilo kakav drugi uticaj na Vaseljenu? I ko je njega stvorio?

Sve do sada, većina naučnika bila je odveć zaokupljena postavljanjem novih teorija koje opisuju šta je Vaseljena, ne upuštajući se uopšte u pokušaj da se odgovori na pitanje zašto. Sa druge strane, ljudi čiji je posao da pitaju zašto, filozofi, nisu bili u stanju da drže korak sa razvojem naučnih teorija. U osamnaestom stoleću filozofi su smatrali da sveskoliko ljudsko znanje, uključujući tu i nauku, predstavlja njihovo polje i raspravljali su o pitanjima kao što je: 'Da li je Vaseljena imala početak?' U devetnaestom i dvadesetom veku, međutim, nauka je postala odveć tehnička i matematička za filozofe, odnosno za bilo koga drugog osim za mali broj stručnjaka. Filozofi su u toj meri smanjili svoje područje izučavanja da je Vitgenštajn, najznamenitiji filozof ovog stoleća, rekao: 'Jedini preostali zadatak filozofije jeste analiza jezika.' Kakav svršetak za veliku tradiciju filozofije od Aristotela do Kanta!

Ako mi, međutim, uspemo da dođemo do jedne celovite teorije, onda bi nju, s vremenom, trebalo u načelu da shvate svi, a ne samo nekolicina naučnika. Tada ćemo svi mi, filozofi, naučnici, kao i obični ljudi, biti u stanju da uzmemo udela u raspravi o pitanjima vezanim za razlog postojanja kako nas samih tako i Vaseljene. Ukoliko pronađemo odgovor na to, onda će to biti vrhunski trijumf ljudskog razuma - jer tada ćemo pronaći u sam um Boga.

## ALBERT AJNŠTAJN

Dobro je poznata Ajnštajnova veza sa politikom nuklearne bombe; on je potpisao znamenito pismo predsedniku Frenklinu Ruzveltu, koje je nagnalo Sjedinjene Države da zamisao shvate ozbiljno, a potom se u posleratnom razdoblju pridružio naporima da se spreči izbijanje nuklearnog rata. No, ovo nisu bili samo izdvojeni postupci jednog naučnika uvučenog u svet politike. Ajnštajnov život je, zapravo, bio, prema njegovim vlastitim rečima, 'podeljen između politike i jednačina'.

Ajnštajnova najranija politička aktivnost potiče iz vremena Prvog svetskog rata, kada je bio profesor u Berlinu. Razgnevljen onim što je smatrao za traćenje ljudskih života, uzeo je udela u antiratnim demonstracijama. Njegovo zagovaranje civilnog neposlušništva i javno podsticanje ljudi da ne pristanu na regrutaciju nisu mu, međutim, doneli uvažavanje među kolegama. A onda, posle rata, upravio je napore ka izmirenju sukobljenih naroda i poboljšanju međunarodnih odnosa. Ni to mu, međutim, nije donelo popularnost; štaviše, politička delatnost uskoro je počela da mu otežava pristup u Sjedinjene Države, čak i radi držanja predavanja.

Naredna stvar za koju se Ajnštajn zalagao bio je cionizam. Iako je poreklom bio Jevrejin, Ajnštajn nije prihvatao biblijsku ideju o Bogu. Rastuće antisemitsko raspoloženje, kako pre tako i za vreme Drugog svetskog rata, postepeno ga je navelo na to da se poistoveti sa jevrejskom zajednicom, kao i da kasnije postane otvoreni pristalica cionizma. Npopularnost koju mu je ovaj stav doneo ponovo ga nije odvratila od toga da javno izlaže svoje poglede. Na udaru su se našle i njegove teorije, pa je čak bila upriličena jedna antiajnštajnovska organizacija. Jedan čovek je bio osuđen zbog toga što je podsticao druge da ubiju Ajnštajna (kazna je iznosila pukih šest dolara). Ali Ajnštajn je sve to primio flegmatično. Kada se pojavila knjiga pod naslovom Sto autora protiv Ajnštajna, on je uzvratilo: 'Da nisam bio u pravu, bio bi dovoljan i samo jedan!'

Godine 1933, na vlast je došao Hitler. Ajnštajn se nalazio u Americi i izjavio je da ne želi da se vrati u Nemačku. A onda, pošto je nacistička milicija izvršila pretres njegove kuće i konfiskovala mu

račun u banci, u jednim berlinskim novinama pojavio se sledeći naslov: 'Dobre vesti od Ajnštajna - odlučio je da se ne vrati!' Suočen sa nacističkom pretnjom, Ajnštajn je odustao od pacifističkih uverenja i konačno, bojeći se mogućnosti da nemački naučnici naprave nuklearnu bombu, predložio je da to učine i Sjedinjene Države. Ali još pre no što je eksplodirala prva atomska bomba, on je počeo da javno upozorava na opasnost od nuklearnog rata, predlažući međunarodnu kontrolu nuklearnog naoružanja.

Napori koje je Ajnštajn ulagao tokom celog života u postizanje mira nisu bili odveć plodotvorni niti su mu doneli mnogo prijatelja. Njegova verbalna podrška cionističkoj stvari bila je, međutim, nagrađena 1952, kada mu je bilo ponuđeno mesto predsednika Izraela. On ga nije prihvatio, uzvativši da sebe smatra odveć naivnim za politiku. Ali možda je stvarni razlog bio drugačiji. Evo ponovo njegovih reči: 'Jednačine su mi važnije, jer politika se odnosi na sadašnjost, dok jednačine pripadaju večnosti.'

## GALILEO GALILEJ

Možda se Galileju, više nego bilo kom drugom pojedincu, ima pripisati u zaslugu rođenje moderne nauke. Njegov znameniti sukob sa katoličkom crkvom bio je od središnjeg značaja za njegovu filozofiju, jer Galilej je bio jedan od prvih koji su ustvrdili da čovek može da se nada da će pronaći u to kako svet dejstvuje; štaviše, to bismo mogli postići posmatranjem stvarnog sveta.

Galilej je od početka verovao u Kopernikovu teoriju (prema kojoj planete kruže oko Sunca), ali počeo je da je javno podržava tek onda kada je otkrio dokaze koji su potvrđivali valjanost te zamisli. Pisao je o Kopernikovoj teoriji na italijanskom (a ne na uobičajenom akademskom latinskom) i njegova gledišta uskoro su dobila široku podršku izvan univerziteta. Ovo je ozlojedilo aristotelovske profesore koji su se ujedinili protiv njega, nastojeći da ubede katoličku crkvu da izopšti Kopernika.

Zabrinut zbog ovoga, Galilej je pohitao u Rim na razgovor sa crkvenim vlastima. Istupio je pred njima sa tvrdnjom da svrha Biblije nije da nam bilo šta kaže o naučnim teorijama, kao i da je uobičajeno pretpostaviti da je Sveto Pismo alegorično na onim mestima gde protivureči zdravom razumu. Ali crkva se pobojala skandala koji je mogao da podrije njenu borbu protiv protestantizma, te je tako preduzela represivne mere. Kopernikove nazore proglasila je 1616. za 'lažne i pogrešne' i naložila je Galileju da više nikada ne brani i ne zastupa to učenje. Galilej se s tim pomirio.

Godine 1623, jedan dugogodišnji Galilejev prijatelj postao je papa. Galilej je odmah pokušao da ga nagovori da povuče naredbu. Nije u tome uspeo, ali mu je pošlo za rukom da dobije dozvolu da napiše knjigu u kojoj bi raspravljao o Aristotelovoj i Kopernikovoj teoriji, pod dva uslova: neće stati ni na čiju stranu i doći će do zaključka da čovek nikako ne može da ustanovi kako svet dejstvuje zato što Bog može da izazove ista dejstva na načine nepojamne čoveku, koji ne sme da postavlja ograničenja Božjoj svemoći.

Knjiga pod naslovom Rasprava o dva glavna sistema sveta bila je privedena kraju i objavljena 1632, uz punu potporu cenzora, i odmah je bila pozdravljena širom Evrope kao književno i folosofsko remek-

delo. Shvativši da ljudi u knjizi vide uverljiv prilog kopernikanizmu, papa je uskoro zažalio što je dopustio njeno objavljivanje. Stoga je ustvrdio da je Galilej, iako knjiga ima zvanični blagoslov cenzora, ipak prekršio odredbu iz 1616. Izveo je Galileja pred inkviziciju, koja ga je osudila na doživotni kućni pritvor i naložila mu da se javno odrekne kopernikanizma. Galilej je po drugi put ustuknuo.

Galilej je ostao veran katolik, ali njegovo uverenje u nezavisnost nauke nije bilo poljuljano. Četiri godine pre smrti 1642, nalazeći se i dalje u kućnom pritvoru, uspeo je da prokrijumčari rukopis svoje druge kapitalne knjige jednom izdavaču u Holandiji. Upravo ovo delo, poznato pod naslovom Dve nove nauke, postalo je, još više nego Galilejeva podrška Koperniku, zametak moderne fizike.

## ISAK NJUTN

Isak Njutn nije bio prijatan čovek. Njegov odnos sa ostalim akademcima bio je na zlom glasu, a pozne godine života proveo je u žučnim raspravama. Posle objavljivanja Principiae Mathematicae, neosporno najznačajnije knjige koja je ikada bila napisana u fizici, Njutnov ugled u javnosti počeo je brzo da raste. Bio je naimenovan za predsednika Kraljevskog društva i postao je prvi naučnik u istoriji koji je dobio titulu viteza.

Njutn je uskoro došao u sukob sa kraljevskim astronomom Džonom Flemstidom, koji ga je prethodno opskrbljivao neophodnim podacima za Principiu, ali je sada zadržavao informacije koje su Njutnu bile potrebne. Njutn nije mogao da se pomiri sa ovim odbijanjem; samoga sebe je naimenovao za upravno telo Kraljevske opservatorije, a onda je pokušao da izdejstvuje da podaci smesta budu objavljeni. Konačno je tako sredio stvari da se Flemstidovog dela dočepa i da ga pripremi za objavljivanje njegov smrtni neprijatelj Edmond Halej. Ali Flemstid je poveo parnicu i ubrzo dobio presudu kojom se zabranjivalo rasturanje ukradenog dela. Ovo je silno razjarilo Njutna koji je stao da se sveti na taj način što je sistematično brisao svaki pomen o Flemstidu u potonjim izdanjima Principiae.

Znatno ozbiljnija rasprava zapodenula se sa nemačkim filozofom Gotfridom Lajbnicom. I Lajbnic i Njutn su, nezavisno jedan od drugoga, postavili temelje jednoj grani matematike koja se naziva diferencijalni i integralni račun. Ovaj račun čini temelj najvećeg dela moderne fizike. Iako danas znamo da je Njutn otkrio ovaj račun godinama pre Lajbnica, on je svoje delo objavio znatno kasnije. Došlo je do silne prepirke oko toga kome pripada prvenstvo, pri čemu su naučnici strastveno stajali na strani jednog ili drugog takmaca. Zanimljivo je međutim, da je većina članaka koja se pojavila u odbranu Njutna potekla, zapravo, iz njegovog pera, pri čemu su ih njegovi prijatelji samo potpisali! Kada se rasprava rasplamsala, Lajbnic je načinio grešku, predloživši Kraljevskom društvu da reši spor. Kao predsednik, Njutn je naimenovao jedan 'napristrasan' odbor da izvrši istragu; odbor se slučajno sastojao



isključivo od njegovih prijatelja! Ali to nije bilo sve: Njutn je potom lično napisao izveštaj odbora i naložio Kraljevskom društvu da ga objavi, optuživši Lajbnica za plagijat. I dalje nezadovoljan, potom je napisao anonimni prikaz izveštaja i objavio ga u periodičniku Kraljevskog društva. Po Lajbnicovoj smrti Njutn je navodno izjavio da mu je bilo silno milo što je doskočio svom takmacu.

U vreme ove dve rasprave Njutn je već napustio Kembridž i akademiju. Bio je aktivno uzeo udela u antikatoličkoj politici Kembridža, a kasnije i u parlamentu, što mu je na kraju donelo unosno mesto čuvara kraljevske kovnice. Tu je iskoristio svoje nadarenosti za spletkarenje i podmetanje na društveno prihvatljiviji način, uspešno vodeći veliku kampanju protiv krivotvorenja, pa čak i poslavši nekoliko ljudi na vešala.

## POJMOVNIK

**Akcelerator čestica:** Mašina koja, pomoću elektromagneta, može da ubrza pokretne naelektrisane čestice, dajući im više energije.

**Antičestica:** Svaki tip materijalne čestice ima odgovarajuću antičesticu. Kada se čestica sudari sa antičesticom, one se međusobno potiru, ostavljajući za sobom samo energiju.

**Antropičko načelo:** Vaseljenu vidimo onakvu kakva jeste, jer da je drugačija, mi ne bismo bili ovde da je posmatramo.

**Apsolutna nula:** Najniža moguća temperatura na kojoj data supstanca ne sadrži toplotnu energiju.

**Atom:** Osnovna jedinica obične materije, sazdana od sićušnog jezgra (sačinjenog od protona i neutrona) oko koga kruže elektroni.

**Beli patuljak:** Stabilna hladna zvezda koju na okupu održava odbijanje između elektrona u duhu načela isključenja.

**Crna rupa:** Područje prostorvremena iz koga se ništa, čak ni svetlost, ne može otisnuti, zbog izuzetno velike sile teže.

**Crveni pomak:** Pomeranje ka crvenom kraju linija u spektru svetlosti neke zvezde, izazvano Doplerovim efektom, kada se ona udaljuje od nas.

**Čandrasekarova granica:** Najveća moguća masa jedne stabilne hladne zvezde, iznad koje ona mora da kolabira u crnu rupu.

**Događaj:** Tačka u prostorvremenu određena svojim vremenom i mestom.

**Dvojnost talas-čestica:** Prema kvantnoj mehanici, nema razlike između talasa i čestica; čestice se mogu ponekad ponašati kao talasi, a talasi kao čestice.

**Električni naboj:** Svojstvo jedne čestice kojim ona može da odbija (ili privlači) druge čestice koje imaju naboj istog (odnosno suprotnog) znaka.

**Elektromagnetna sila:** Sila koja se javlja između čestica sa

električnim nabojem, druga po snazi od četiri osnovne sile prirode.

Elektron: Čestica sa negativnim naelektrisanjem koja kruži oko atomskog jezgra.

Elektroslaba energija objedinjenja: Energija (oko 100 GeV) iznad koje nestaje razlika između elektromagnetne i slabe nuklearne sile.

Elementarna čestica: Čestica koja se, kako se smatra, ne može dalje deliti.

Faza: Kod talasa, položaj u ciklusu u nekom određenom vremenu - da li je, naime, posredi breg, dolja, ili neka tačka između.

Foton: Kvant svetlosti.

Gama-zrak: Elektromagnetni talasi veoma kratkih talasnih dužina koji nastaju pri radioaktivnom raspadanju ili pri sudarima elementarnih čestica.

Geodezijska linija: Najkraća ili najduža putanja između dve tačke.

Gola singularnost: Prostorvremenska singularnost koju ne okružuje crna rupa.

Horizont događaja: Granica crne rupe.

Imaginarno vreme: Vreme koje se meri imaginarnim brojevima.

Jaka sila: Najjača od četiri osnovne sile prirode, sa najkraćim dometom. Ona drži na okupu kvarkove u protonima i neutronima kao i protone i neutrone, obrazujući atome.

Koordinate: Brojevi koji određuju položaj jedne tačke u prostoru i vremenu.

Kosmologija: Izučavanje Vaseljene kao celine.

Kosmološka konstanta: Matematičko sredstvo koje je koristio Ajnštajn kako bi prostorvremenu obezbedio inherentnu težnju ka širenju.

Kvant: Nedeljiva jedinica u kojoj talasi mogu biti emitovani ili apsorbovani.

Kvantna mehanika: Teorija proistekla iz Plankovog kvantnog načela i Hajzenbergovog načela neodređenosti.

**Kvark:** Naelektrisana elementarna čestica koja je podložna dejstvu jake nuklearne sile. Proton i neutron se sastoje od po tri kvarka.

**Magnetno polje:** Polje koje tvori magnetna sila, sada uključeno, zajedno sa električnim poljem, u elektromagnetno polje.

**Masa:** Količina materije u jednom telu; njegova inercija ili otpor ubrzanju.

**Mikrotalasno pozadinsko zračenje:** Zračenje sjaja tople rane Vaseljene, sada sa toliko velikim crvenim pomakom da više ne izgleda kao svetlost, već kao mikrotalasi (radio-talasi sa talasnom dužinom od nekoliko centimetara).

**Načelo isključenja:** Dve istovetne čestice sa spinom  $1/2$  ne mogu imati (u granicama koje određuje načelo neodređenosti) isti položaj i istu brzinu.

**Načelo neodređenosti:** Nikada se ne može potpuno biti siguran istovremeno u položaj i brzinu neke čestice; što se tačnije zna jedan parametar, to se manje tačno zna drugi.

**Neutrino:** Izuzetno laka (verovatno bez mase) elementarna čestica materije na koju deluju jedino slaba sila i gravitacija.

**Neutron:** Čestica bez naelektrisanja, veoma slična protonu, na koju otpada približno polovina mase u jezgru većine atoma.

**Neutronska zvezda:** Hladna zvezda koju na okupu održava odbijanje između neutrona, u duhu načela isključenja.

**Nuklearna fuzija:** Proces u kome dolazi do sudaranja i srastanja dva jezgra, pri čemu se obrazuje novo, teže jezgro.

**Očuvanje energije:** Zakon nauke prema kome se energija (ili njen ekvivalent u masi) ne može ni stvoriti ni uništiti.

**Opšta relativnost:** Ajnštajnova teorija koja se temelji na zamisli da bi zakoni prirode trebalo da budu isti za sve posmatrača, bez obzira na to kako se oni kreću. Ona objašnjava silu gravitacije iz perspektive zakrivljenosti četvorodimenzionog prostorvremena.

**Plankovo kvantno načelo:** Zamisao da se svetlost (ili bilo koji dugi klasični talasi) može emitovati ili apsorbovati jedino u diskretnim kvantima, čija je energija upravo srazmerna njihovoj učestalosti.

Polje: Nešto što postoji u celom prostoru i vremenu, za razliku od čestice koja postoji samo u jednoj tački u datom vremenu.

Posebna relativnost: Ajnštajnova teorija koja se temelji na zamisli da zakoni nauke treba da budu isti za sve posmatrača koji se nalaze u slobodnom kretanju, bez obzira na njihovu brzinu.

Pozitron: Pozitivno naelektrisana antičestica elektrona.

Praiskonska crna rupa: Crna rupa nastala u veoma ranoj Vaseljeni.

Prostorna dimenzija: Bilo koja od tri dimenzije prostorvremena koje su prostorne; odnosno, sve izuzev vremenske dimenzije.

Prostorvreme: Četvorodimenzioni prostor čije su tačke događaji.

Proton: Čestica sa pozitivnim naelektrisanjem na koju otpada približno polovina mase jezgra kod većine atoma.

Radar: Sistem u kome se koriste impulsirani radio-talasi da se otkrije položaj tela na taj način što se meri vreme koje je potrebno jednom impulsu da stigne do datog objekta i bude odražen natrag.

Radioaktivnost: Spontano razlaganje jednog tipa atomskih jezgara u druga.

Singularnost: Tačka u prostorvremenu u kojoj zakrivljenost prostorvremena postaje beskonačna.

Slaba sila: Jedna od četiri osnovne sile prirode, sasvim kratkog dometa, od koje je slabija samo gravitaciona sila. Ona deluje na sve čestice materije, ali ne i na čestice koje nose silu.

Spektar: Raspodela intenziteta jednog - recimo, elektromagnetnog - talasa po njegovim sastavnim učestalostima.

Spin: Unutrašnje svojstvo elementarnih čestica, koje ima veze, ali nije istovetno sa uobičajenim pojmom spina (vrtenja).

Stacionarno stanje: Stanje koje se ne menja s vremenom; kugla koja se vrti stalnom brzinom stacionarna je zato što izgleda istovetna u bilo kom trenutku, iako nije statična.

Svetlosna kupa: Površina u prostorvremenu koja označava moguće pravce svetlosnih zraka što prolaze kroz dati događaj.

Svetlosna sekunda (svetlosna godina): Udaljenost koju svetlost prevali u jednoj sekundi (godini).

Talaska dužina: Kod talasa, razdaljina između dve susedne dolje ili

dva susedna brega.

Teorema singularnosti: Teorema koja pokazuje da singularnost mora postojati pod određenim okolnostima, kao i da je Vaseljena morala početi singularnošću.

Težina: Jačina sile kojom na neko telo deluje gravitaciono polje. Ona je upravo srazmerna, ali ne i istovetna masi.

Ubrzanje: Stopa promene brzine nekog tela.

Učestalost: Kod talasa, broj celih ciklusa u sekundi.

Upravo srazmerno: Izraz 'X je upravo srazmerno Y' znači da kada Y biva pomnoženo nekim brojem, onda to biva i X. Izraz 'X je obrnuto srazmerno Y' znači da kada je Y pomnoženo nekim brojem, onda X biva podeljeno tim istim brojem.

Uslov bezgraničnosti: Zamisao da je Vaseljena konačna, ali da nema granica (u imaginarnom vremenu).

Velika energija objedinjenja: Energija iznad koje se, kako se smatra, više ne mogu međusobno razlikovati elektromagnetna, slaba nuklearna i jaka nuklearna sila.

Velika objedinjena teorija (VOT): Teorija koja objedinjuje elektromagnetnu, jaku nuklearnu i slabu nuklearnu silu.

Veliki Prasak: Singularnost na početku Vaseljene.

Veliko Sažimanje: Singularnost na kraju Vaseljene.

Virtuelna čestica: U kvantnoj mehanici, čestica koja nikada ne može neposredno biti otkrivena, ali čije postojanje ima merljiva dejstva.

# Sadržaj

ZAHVALNICE

UVOD

1. NAŠA SLIKA VASELJENE

2. PROSTOR I VREME

3. VASELJENA KOJA SE ŠIRI

4. NAČELO NEODREĐENOSTI

5. ELEMENTARNE ČESTICE I SILE PRIRODE

6. CRNE RUPE

7. CRNE RUPE NISU TAKO CRNE

8. NASTANAK I SUDBINA VASELJENE

9. STRELA VREMENA

10. OBJEDINJENJE FIZIKE

11. ZAKLJUČAK

ALBERT AJNŠTAJN

GALILEO GALILEJ

ISAK NJUTN

POJMOVNIK