

Tkanje svemira

Dela Brajana Grina:

ELEGANTNI KOSMOS

TKANJE SVEMIRA

IKAR NA RUBU VREMENA

SKRIVENA STVARNOST

Brajan Grin

Tkanje svemira

PROSTOR, VREME
I USTROJSTVO STVARNOSTI

Prevod
Goran Vujasinović
Ana Ješić



Posvećeno Trejsi

Sadržaj

Predgovor ix

Deo I: Arena stvarnosti

1. Putevi ka stvarnosti 3
2. Kosmos i kofa 25
3. Relativnost i apsolut 41
4. Pletenje prostora 79

Deo II: Vreme i iskustvo

5. Zamrznuta reka 127
6. Slučaj i strela 143
7. Vreme i kvant 177

Deo III: Prostorvreme i kosmologija

8. O pahuljicama i prostorvremenu 219
9. Isparavanje vakuuma 251

10. Raščlanjivanje praska 271
11. Kvanti na nebu s dijamantima 303

Deo IV: Počeci i objedinjenje

12. Svet na žici 325
13. Svemir na brani 373

Deo V: Stvarnost i mašta

14. Nebo i zemlja 411
15. Teleportacija i vremeplov 433
16. Budućnost jedne aluzije 467

Napomene 491

Naučni pojmovnik 541

Preporučena literatura 547

Indeks 549

O autoru 576

Predgovor

Nijedna druga naučna tema ne nadahnjuje maštu kao prostor i vreme. Ima dobrih razloga za to. Ova dva pojma poprište su realnosti, pravo su tkanje kosmosa. Čitavo naše postojanje – sve što činimo, celokupno naše iskustvo – odigrava se u nekoj oblasti prostora u određenom vremenskom periodu. Ipak, nauka i dalje samo pokušava da shvati šta su, zapravo, prostor i vreme. Jesu li stvarni fizički entiteti ili tek korisne ideje? Ako su stvarni, da li su osnovni, ili nastaju iz fundamentalnijih konstituenata? Šta znači prazan prostor? Ima li vreme početak? Da li ima strelu neopozivo usmerenu od prošlosti ka budućnosti, na šta upućuje svakodnevno iskustvo? Možemo li da upravljamo prostorom i vremenom? U ovoj knjizi, pratićemo trista godina strastvenog naučnog istraživanja čija je svrha tražanje za odgovorom ili barem nagoveštajem odgovora, na takva osnovna, ali duboka pitanja o prirodi kosmosa.

Na tom putovanju stalno ćemo se susretati i s jednim drugim pitanjem, u čvrstoj sprezi s prethodnim. To pitanje je opsežno koliko i nedokučivo: šta je stvarnost? Nama, ljudima, dostupna su samo unutrašnja iskustva percepcije i mišljenja – kako, onda, možemo biti sigurni da ona zaista odražavaju spoljašnji svet? Filozofi su odavno svesni tog problema. Filmski autori su ga učinili popularnim kroz priče o veštačkim svetovima, nastalim u fino podešenim neurološkim simulacijama koje postoje samo u umovima protagonista. A fizičari, poput mene, duboko su svesni toga da realnost koju opažamo – materija što evoluirá na pozornici prostora i

vremena – možda ima samo malo, ako uopšte i ima, veze s pravom realnoću oko nas. Ipak, opažanja su jedino što imamo, te ih shvatamo ozbiljno. Biramo sirove podatke i matematičke okvire za vodilje, a ne nesputanu maštu ili nepopustiljivi skepticizam, i tražimo najjednostavnije, no ujedno i najdalekosežnije teorije koje mogu da objasne i predvide ishod današnjih i budućih eksperimenata. Time postavljamo žestoka ograničenja na teorije za kojima tragamo. (Na primer, u ovoj knjizi nećete naći nagoveštaje da plutam u cisterni, povezan hiljadama žica za stimulaciju mozga zbog kojih samo umišljam da sada pišem ovaj tekst.) Ali tokom poslednjih sto godina, otkrića u oblasti fizike upućuju na revizije našeg svakodnevnog osećaja stvarnosti koje su u toj meri dramatične, takve glavolomke i udari na paradigme koliko i najmaštovitija dela naučne fantastike. Te revolucionarne promene smernice su za naše putovanje po stranicama ove knjige.

Mnoga pitanja koja razmatramo identična su, premda prikazana u drugačijem ruhu, onima koja nisu kroz vekove davala mira Aristotelu, Galileju, Njutnu, Ajnštajnu, i nebrojenim drugim naučnicima. I pošto je namena ove knjige da opiše naučnu oblast u začetku, pratićemo sudbinu tih pitanja otkrivajući kako su ih generacije u prošlosti proglašavale razjašnjenim, a njihovi naslednici opovrgavali, da bi ih naučnici u potonjim vekovima doterivali i iznova definisali.

Na primer, kada budemo razmatrali komplikovano pitanje da li je prostor koji je sasvim prazan kao belo slikarsko platno, stvaran entitet ili samo apstraktna ideja, pratićemo klatno naučnog mišljenja kako se njiše od Njutnove objave iz 17. veka o realnosti prostora, preko suprotnog zaključaka Ernsta Maha u 19. veku, do Ajnštajnovne dramatične reformulacije samog pitanja stoleće kasnije, kojom je spojio prostor i vreme, i najvećim delom opovrgao Maha. Susrešćemo se, potom, sa kasnijim otkrićima koja su još jednom izmenila samo pitanje redefinisanjem značenja reči „prazno“, predstavljajući prostor kao neizbežno ispunjen nečim što nazivamo kvantnim poljima i, moguće je, difuznom energijom zvanom kosmološka konstanta – modernim odjecima starog i odbačenog pojma etera u prostoru. Povrh toga, opisaćemo kako bi predstojeći eksperimenti na planu prostora mogli da potvrde određene aspekte Mahovih zaključaka koji su u skladu sa Ajnštajnovom opštom relativnoću – biće to dobra ilustracija fascinantne i složene mreže naučnog razvoja.

Danas su nam na raspolaganju plodonosne spoznaje inflatorne kosmologije o streli vremena, bogata paleta dodatnih prostornih dimenzija teorije struna, radikalna pretpostavka M-teorije da bi prostor koji naseljavamo mogao biti samo komadić što pluta u većem kosmosu, i aktuelno nagađanje na granici pojmljivog – da kosmos koji vidimo nije ništa više do kosmički hologram. Još uvek ne znamo da li su novije ovakve pretpostavke tačne. Ali ma koliko besmisleno zvučale, shvatamo ih ozbiljno, jer ka njima nas vodi naša uporna potraga za najdubljim zakonima kosmosa. Čudna i neznana stvarnost ne mora da bude samo plod bogate mašte naučne fantastike, već se može ukazati i usled najnaprednijih otkrića moderne fizike.

Tkanje svemira namenjeno je prevashodno širem krugu čitalaca sa skromnim ili nikakvim obrazovanjem na polju nauke, ali koje želja za razumevanjem mehanizama po kojima funkcioniše kosmos podstiče da se uhvate u koštac s brojnim složenim i zahtevnim konceptima. Kao i u mojoj prvoj knjizi, *Elegantni kosmos*, ni u jednom trenutku se ne udaljavam od ključnih naučnih ideja, izostavljajući, istovremeno, matematičke detalje u korist metafora, analogija, priča i ilustracija. Pravovremeno ću upozoriti čitaoce na svaki težak deo u knjizi, uz kratak pregled za one koji odluče da preskoče zahtevnije diskusije ili da se ne upuštaju preduboko u njih. Na taj način, čitaoci će moći da hode putem otkrića i da pored znanja o aktuelnom pogledu na svet koji pruža fizika, stižu i uvide o tome kako je taj pogled na svet postao prihvaćen.

Knjiga bi trebalo da zainteresuje i studente, predane čitaoce opštih naučnih tekstova, profesore i profesionalce iz ove oblasti. Iako su početna poglavlja pregled neophodnih, ali standardnih osnovnih podataka o relativnosti i kvantnoj mehanici, pristup u čijem je središtu fizički aspekt prostora i vremena donekle je nekonvencionalan. U narednim poglavljima, razmatram široku paletu tema – između ostalog i Belovu teoremu, eksperimente sa odloženim izborom, kvantna merenja, ubranu ekspanziju, mogućnost stvaranja crnih rupa u narednoj generaciji akceleratora čestica, živopisne vremeplove kroz crvotočine – kako bi čitaoci stekli saznanja o brojnim najizazovnijim pomacima oko kojih se lome koplja.

Deo materijala koji izlažem u ovoj knjizi je kontroverzan. Najvažnije stavove o temama koje su još uvek predmet rasprava, predstavio sam u telu teksta. Za nedoumice oko kojih postoji opšte slaganje, drugačija gledišta

sam naveo u napomenama. Pojedini naučnici, naročito oni koji zastupaju manjinska gledišta, možda će dovesti u pitanje neke moje procene, ali sam se trudio da kroz čitav tekst i u napomenama održim uravnotežen odnos prema različitim mišljenjima. Naročito marljiv čitalac će u napomenama naći i detaljnija objašnjenja, razjašnjenja i prigovore od važnosti za pitanja koja sam pojednostavio, kao i sažete matematičke dopune (za čitaocje koje i to zanima) pristupu bez jednačina u glavnom tekstu. Kratak pojmovnik poslužiće kao referenca za neke stručnije naučne termine.

Ni knjiga ove dužine nije dovoljna za opširnu temu prostora i vremena. Fokusirao sam se na one elemente za koje mislim da su uzbudljivi i od ključne važnosti za formiranje pune slike realnosti slikane četkicom moderne nauke. Njihov izbor je vrlo često bio odraz mojih ličnih sklonosti, te se izvinjavam onima kojima se čini da njihovom polju istraživanja ili omiljenoj oblasti proučavanja nije posvećena odgovarajuća pažnja.

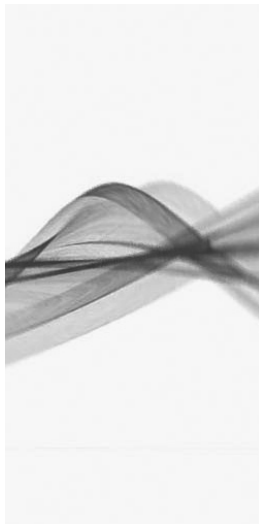
Imao sam sreću da sam, dok sam pisao *Tkanje svemira*, dobijao reakcije mnogih predanih čitalaca koje su mi mnogo značile. Rafael Kasper, Luboš Motl, Dejvid Stajnhart i Ken Vajnberg čitali su razne verzije rukopisa u celini, ponekad i više puta, i dali mi brojne, detaljne i pronicljive predloge koji su u mnogome poboljšali jasnoću i preciznost izlaganja. Od srca im zahvaljujem. Dejvid Albert, Ted Balc, Nikolas Bousliff, Trejsi Dej, Piter Demčuk, Ričard Ister, Ana Hol, Kejt Goldsmit, Šeli Goldstajn, Majkl Gordin, Džoša Grin, Artur Grinspun, Gavin Guera, Sandra Kaufman, Edvard Kastenmajer, Robert Krulvič, Andrej Linde, Šani Ofen, Maulik Parik, Majkl Popovic, Marlin Skali, Džon Stačel i Lars Streter pročitale su rukopis u celini ili delimično, a njihovi komentari su bili izuzetno korisni. I razgovori sa Andreasom Albrehtom, Majklom Basetom, Šonom Kerolom, Andreom Kros, Ritom Grin, Alanom Gutom, Markom Džeksonom, Danijelom Kabatom, Vilom Kinijem, Džastinom Kaurijem, Hiranjom Pejris, Solom Perlmaterom, Konradom Šalmom, Polom Stajnhartom, Leonardom Saskindom, Nilom Turokom, Henrijem Tajom, Vilijamom Varmasom i Erikom Vajnbergom, takođe su mi bili od pomoći. Posebnu zahvalnost dugujem Rafaelu Ganeru, čiji su se izoštreno čulo za pravu raspravu i spremnost da kritikuje razne moje pokušaje pokazali neprocenjivim. Erik Martinez mi je neumorno pružao presudnu pomoć u pripremi knjige za štampu, a Džejson Sivers je zaslužan za izvanredne ilustracije. Zahvaljujem svojim agentima, Katinki Metson i Džonu Brokmanu. Veliku zahvalnost dugujem

svom uredniku, Martiju Ašeru, izvoru podrške, saveta i pronicljive kritike koji su znatno poboljšali kvalitet izlaganja.

Finansijska sredstva za moje istraživanje, tokom dosadašnje karijere, obezbeđivalo je Ministarstvo za energiju, njegova Nacionalna fondacija za nauku i Fondacija Alfred P. Sloan. Veoma sam im zahvalan na podršci.

Deo I

Arena stvarnosti



Poglavlje 1

Putevi ka stvarnosti

PROSTOR, VREME I USTROJSTVO STVARNOSTI

Nijedna knjiga na prašnjavim policama moga oca nije bila zabranjena. Ipak, dok sam odrastao nisam video da iko poseže za nekom knjigom. Mahom su to bile glomazne knjige – opsežna istorija civilizacije, s njom u skladu vrhunska dela zapadne literature, i još mnogi drugi naslovi kojih se više ne mogu setiti – sve kao da su srasle s policama blago ulubljenim posle decenija pružanja čvrste potpore. Ali na najvišoj polici bio je tanak knjižuljak koji bi mi svako malo privukao pogled jer se činilo da mu tu nikako nije mesto – kao Guliveru među Brobdingancima. Sada nisam sasvim siguran zašto sam toliko čekao da se latim te knjige. Možda mi se, kako su godine prolazile, sve manje činilo da je knjiga tu da bi se čitala, već da je pre porodično nasleđe kome se divite izdaleka. Ipak, to strahopoštovanje se povuklo pred tinejdžerskom plahovitošću. Dohvatio sam knjižuljak, otresao prašinu s njega i otvorio prvu stranu. Prvih nekoliko rečenica bilo je, u najmanju ruku, zadržavajuće.

„Samo je jedan pravi filozofski problem, a to je ubistvo“, počinjala je knjiga. Ustuknuo sam. „Da li svet ima tri dimenzije, ili um devet ili dvanaest kategorija“, pisalo je dalje u tekstu, „manje je važno“, takva pitanja, usledilo je objašnjenje, deo su igre koju čovečanstvo igra, ali njima se treba posvetiti tek kada se razreši glavno pitanje. Knjiga je bila *Mit o Siziifu*, a autor nobelovac Alber Kami. Sledećeg trena, ledena hladnoća ovih reči otopila se pod svetlom poimanja. Da, naravno, pomislio sam. Možeš razmatrati ovo ili analizirati ono do kraja sveta i veka, ali pravo pitanje

je hoće li te sva tvoja razmatranja i analize uveriti da vredi živeti. Na to se sve svodi. Ostalo su tek detalji.

Mora biti da se moj slučajni susret s Kamijevom knjigom odigrao u uzrastu kad sam bio naročito osetljiv, jer su mi se te reči, više nego bilo šta drugo što sam pročitao, urezale u pamćenje. Stalno sam se pitao šta bi svi ti razni ljudi koje sam sreo ili za koje sam čuo ili koje videh na televiziji, odgovorili na to najvažnije od svih pitanja. Ipak, iz današnje pozicije, rekao bih da se njegova afirmativna tvrdnja, ona o ulozi naučnog napretka, nametnula kao poseban izazov za mene. Kami je bio svestan vrednosti razumevanja strukture kosmosa, ali, koliko sam uspeo da shvatim, odbacivao je mogućnost da bi takva spoznaja mogla da utiče na naš odnos prema tome vredi li živeti. Naravno, fine nijanse teksta o egzistencijalističkoj filozofiji meni, tada tinejdžeru, bile su jasne koliko i Bartu Simpsonu romantičarska poezija, ali nije mi se činilo da je Kami izveo ispravan zaključak. Već tada sam nameravao da postanem fizičar, i smatrao sam da je za činjenicama potkrepljenu ocenu života neophodno sasvim razumeti samo poprište života – kosmos. Sećam se da sam razmišljao kako bi naša procena života bila potpuno kompromitovana kad bismo preko svog iskustva stvarali površan portret stvarnosti – da, je kojim slučajem, ljudski rod živio u pećinama duboko pod zemljom, nesvestan lica zemlje, blistave sunčeve svetlosti, okeanskog povetarca i zvezda na nebu, ili da je evolucija krenula drugačijim tokom, a mi stekli samo čulo dodira, tako da smo sve što znamo spoznali na osnovu dodirivanja našeg neposrednog okruženja, ili da su ljudske mentalne moći prestale da se razvijaju u ranom detinjstvu a naše emocionalne i analitičke veštine napredovale samo do uzrasta petogodišnjaka. Kad bismo, najzad, uspeali da izađemo na površinu, ili da steknemo čulo vida, sluha, mirisa i ukusa, ili da razvijemo umove do sadašnjeg stepena, naš kolektivni pogled na život i kosmos bi se, nužno, korenito promenio. Dotad kompromitovani uvid u stvarnost bacio bi sasvim drugačije svetlo na najvažnije od svih filozofskih pitanja.

Ali, možda ćete se zapitati – šta s tim? Svaka trezvena procena bi nas, svakako, uputila na sledeći zaključak: iako možda ne razumemo kosmos u potpunosti – ne shvatamo svaki aspekt ponašanja materije ili načina na koji život funkcioniše – vidimo grube obrise na platnu prirode. Naravno, ostvarenja u oblasti fizike (kao što je utvrđivanje broja prostornih dimenzija) ili u oblasti neuropsihologije (na primer, razumevanje svih organizacionih struktura u mozgu) ili napredak u koliko god drugih naučnih

poduhvata, mogao bi, kako Kami nagoveštava, da dopuni sliku važnim detaljima, ali njihov uticaj na procenu života i stvarnosti bio bi minimalan. Stvarnost je, po svoj prilici, ono što mislimo da jeste; stvarnost nam se otkriva kroz naša iskustva.

Mnogi od nas, makar samo i implicitno, manje-više dele ovakvo stano-
vište. Ja razmišljam na ovaj način u svakodnevnom životu; lako nas zavede
lice prirode koje dopušta da spoznajemo našim čulima. Ipak, u deceni-
jama iza prvog susreta s Kamijevim tekstvom, shvatio sam da se u moder-
noj nauci govori nešto sasvim drugo. Sveprožimajuće naravoučenije koje
sledi iz naučnih istraživanja iz prošlog veka jeste da ljudsko iskustvo često
navodi na grešku u sagledavanju prave prirode stvarnosti. Odmah ispod
površine svakodnevice postoji svet koji bismo teško prepoznali. Sledbe-
nici okultnog, oni što veruju u astrologiju i oni koji poštuju verska načela,
koji govore o stvarnosti van iskustva, odavno su, iz različitih perspektiva,
izveli sličan zaključak. Ali nisam to imao na umu. Mislim na delo pronic-
ljivih inovatora – naučnika – koji su skidali sloj po sloj kosmičkog luka,
uklanjali jednu po jednu enigmu, otkrivajući kosmos koji je odmah na
prvi pogled iznenađujući, neobičan, uzbudljiv, elegantan i potpuno razli-
čit od bilo čega što je iko očekivao.

Ti naučni pomaci nikako nisu samo detalji. Dostignuća iz oblasti
fizike su izazvala – a i dalje to čine – dramatične revizije naše predstave o
kosmosu. I danas sam, kao i pre više decenija, uveren da je Kami ispravno
odabrao pitanje vrednosti života kao najvažnije, ali uvidi moderne fizike
uverili su me da je sagledavanje života kroz sočiva svakodnevice isto kao
posmatranje Van Gogovog platna kroz praznu bocu koka-kole. Savre-
mena nauka je obarala jednu za drugom činjenice dobijene na osnovu
naših rudimentarnih percepcija, pokazujući da one često stvaraju nejasne
predstave o svetu koji naseljavamo. I, dok je Kami izdvojio fizička pita-
nja i proglasio ih sekundarnim, moje je mišljenje da su ona primarna.
Smatram da fizička stvarnost postavlja i scenu i osvetljenje za hvatanje
u koštac s Kamijevim pitanjem. Sagledavanje egzistencije uz zanemari-
vanje zaključaka moderne fizike ravno je rvanju s nepoznatim protiv-
nikom u mraku. Time što produbljujemo svoje razumevanje prave pri-
rode fizičke stvarnosti, temeljno preobražavamo shvatanje nas samih i
sopstveni doživljaj kosmosa.

U ovoj knjizi nastojim, pre svega, da objasnim neke od najvažnijih
i vodećih revizija naše predstave o stvarnosti, uz poseban ostvrt na one

među njima koje utiču na dugoročnu misiju naše vrste da razumemo prostor i vreme. Od Aristotela do Ajnštajna, od astrolaba do Hablovog svemirskog teleskopa, od piramida do opservatorija na vrhovima planina, prostor i vreme bili su okosnica ljudskog proučavanja otkad smo stekli moć da razmišljamo. S pojavom modernog naučnog doba, njihova važnost je izuzetno porasla. Otkrića iz oblasti fizike u prethodna tri veka predočila su prostor i vreme kao najzahtevnije i najjazovnije koncepte, ali i kao najelementarnije instrumente za našu naučnu analizu kosmosa. Takvi pomaci pokazali su i da su prostor i vreme na vrhu liste drevnih naučnih konstrukata koji su doživeli fantastičnu reviziju kroz najmodernija istraživanja.

Za Isaka Njutna, prostor i vreme su, naprosto, bili tu – činili su statičku, univerzalnu kosmičku pozornicu na kojoj su se odigravali kosmički događaji. Za njegovog savremenika, često i rivala, Gotfrida Vilhelma fon Lajbnica, reči „prostor“ i „vreme“ označavale su odnose između pozicija objekata i vremena odigravanja događaja. Ništa više od toga. Ali za Alberta Ajnštajna, prostor i vreme bili su sirovina od koje su načinjeni temelji stvarnosti. Ajnštajn je teorijom relativnosti objedinio naše razmišljanje o prostoru i vremenu i otkrio njihovu glavnu ulogu u evoluciji kosmosa. Prostor i vreme su od tada blistavi dragulji fizike. Istovremeno su nam i poznati i tajnoviti; potpuno razumevanje prostora i vremena postalo je zadatak fizike koji najviše obeshrabruje i daje najvredniju nagradu.

Otkrića koja ću predstaviti u ovoj knjizi prepliću tkanja prostora i vremena na razne načine. Neke ideje dovešće u sumnju karakteristike prostora i vremena koje su bile tako elementarne da se vekovima, ako ne i milenijumima, činilo kako su van svake sumnje. Druge su nastale iz pokušaja da se uspostavi veza između teorijskog razumevanja kosmosa i našeg svakodnevnog doživljaja kosmosa. Biće i onih zamisli što će pobuditi pitanja koja se ne mogu razrešiti u granicama normalne percepcije.

O filozofiji ćemo progovoriti tek ponešto (i to nikako samo o ubistvu i smislu života). Ali u našoj naučnoj potrazi za rešenjima misterija prostora i vremena, nikako se nećemo obuzdavati. Od kosmosa u svom najmanjem obliku i njegovih najranijih trenutaka do krajnih domašaja i najdalje budućnosti, razmotrićemo prostor i vreme u okruženjima bliskim i dalekim, u odlučnim pokušajima da sagledamo njihovu pravu prirodu. Kako priča o prostoru i vremenu još nije dovršena, nećemo izvesti nikakve

konačne zaključke. Ali, saznaćemo o raznim naučnim pomocima – neki će biti vrlo čudni, drugi će nas nadahnuti, biće i onih eksperimentalno potvrđenih ili krajnje spekulativnih. Ti pomaci pokazaće nam koliko smo blizu toga da spoznamo tkanje kosmosa i da dotaknemo pravu teksturu stvarnosti.

Klasična stvarnost

Istoričari se ne slažu u vezi s tim kada je tačno počelo moderno naučno doba, ali je nesporno da je već podmaklo kada su na scenu stupili Galileo Galilej, Rene Dekart i Isak Njutn. Bilo je to vreme kada se odlučno formirala nova naučna misao, jer obrasci otkriveni na osnovu zemaljskih i astronomskih podataka sve su jasnije ukazivali da postoji poredak svega što se odigrava u kosmosu, poredak pojmljiv na osnovu pažljivog rasuđivanja i matematičkih analiza. Ti pioniri savremene naučne misli smatrali su da se zbivanja u kosmosu, posmatraju li se na pravi način, mogu ne samo objasniti nego i predvideti. Otkrivena je moć nauke da predvidi aspekte budućnosti – dosledno i kvantitativno.

U središtu ranih naučnih istraživanja našlo se ono što se može videti ili iskusiti u svakodnevnom životu. Galilej je ispustio tegove s nagnutog tornja (tako barem kaže legenda) i posmatrao kugle kako se kotrljaju niz kosinu; Njutn je, po legendi, proučavao jabuke u padu i mesečevu orbitu. Svrha ovih istraživanja bila je da se mlado naučno uho naštimuje na sazvučja prirode. Fizička stvarnost je, izvesno, bila u domenu iskustva, ali nametao se izazov da se čuje rima i razlog iza ritma i pravilnosti. Mnogi slavni heroji i oni kojima je slava uskraćena doprineli su brzom i impresivnom napretku, ali Njutn je bio glavna zvezda. Služeći se tek šaćicom matematičkih jednačina, definisao je sve što znamo o kretanju na Zemlji i na nebesima i time sastavio kompoziciju koja je postala poznata kao klasična fizika.

U decenijama posle Njutna, njegove jednačine su se razvile u složenu matematičku strukturu koja je umnogome produbila njihov domet i primenjivost u praksi. Klasična fizika se postepeno izgradila u prefinjenu i zrelu naučnu disciplinu. Ali kroza sve ove pomake jasno se probijala svetlost izvornih Njutnovih uvida. Čak i danas, preko trista godina kasnije, Njutnove jednačine možete naći nažvrljane kredom na tablama

na osnovnim kursevima fizike širom sveta, na planovima koje je izradila NASA s proračunima trajektorija svemirskih letilica, i uklopljene u složene proračune u okviru najnaprednijih istraživanja. Njutn je postavio obilje fizičkih fenomena u jedinstven teorijski sklop.

Ipak, Njutn je, formulišući svoje zakone kretanja, naišao na presudno važan kamen spoticanja koji je posebno bitan za našu priču (poglavlje 2). Svi su znali da objekti mogu da se kreću, ali šta je s pozornicom na kojoj se to dešava? To je, naravno, prostor – svi bismo tako odgovorili. Ali, Njutn bi se zapitao šta je to prostor? Da li je prostor pravi fizički entitet ili apstraktna ideja nastala iz ljudskih nastojanja da se shvati kosmos? Njutn je uvideo da se mora odgovoriti na ovo ključno pitanje, jer bez stanovišta o smislu prostora i vremena njegove jednačine koje opisuju kretanje bile bi besmislene. Razumevanje mora imati kontekst, a uvid – fokus.

I, tako, Njutn je u nekoliko kratkih rečenica u svom delu *Principia Mathematica* izneo viđenje koncepta prostora i vremena, proglasivši ih apsolutnim i neizmenljivim entitetima koji čine kruto, nepromenljivo poprište života kosmosa. Prema Njutnu, prostor i vreme su nevidljivo gradilište na kome kosmos dobija oblik i strukturu.

Nisu se svi slagali s time. Neki su bili ubedljivi u tvrdnji da nema mnogo smisla reći kako postoji nešto što ne možete osetiti, uhvatiti ili na šta ne možete delovati. Ali razložnost i moć predviđanja Njutnovih jednačina učutkala je kritičare. Narednih dvesta godina njegov koncept prostora i vremena kao apsolutnih entiteta bio je važeća dogma.

Relativistička stvarnost

Klasičan njutnovski pogled na svet bio je ugodan. Ne samo da je opisivao prirodne pojave s neverovatnom preciznošću, nego su i detalji opisa – matematika koja stoji iza njega – bili u skladu s iskustvom. Gurnete li objekat, on će ubrzati svoje kretanje. Što jače bacite loptu, jače će udariti o zid. Pritisnite li nešto, osetićete kako i ono vas pritiska. Što je nešto masivnije, jača je gravitaciona sila koja ga povlači nadole. To su neka od osnovnih svojstava prirode, predstavljena u Njutnovim jednačinama jasno kao dan – naići ćete na njih u lekcijama o Njutnovom konceptu. Za razliku od nerazumljivih trabunjanja nadrinauke, način na koji

funkcionišu Njutnovi zakoni mogao je u potpunosti da shvati svako ko iole poznaje matematičke zakonitosti. Klasična fizika stvorila je rigoroznu osnovu za ljudsku intuiciju.

Njutn je svojim jednačinama predstavio silu gravitacije, ali tek šezdesetih godina 19. veka škotski naučnik Džejms Klark Maksvel proširio je teorijski okvir klasične fizike da bi njime obuhvatio električne i magnetne sile. Maksvelu su za to bile potrebne dodatne jednačine, a za matematičke aparate koje je primenio bilo je neophodno naprednije poznavanje matematike. Ali njegove nove jednačine uspešno su objašnjavale električne i magnetne fenomene kao što su Njutnove jednačine opisivale kretanje. Pred kraj 19. veka, postalo je jasno da moć ljudskog intelekta može razotkriti svaku tajnu kosmosa.

Pošto su elektricitet i magnetizam uspešno objedinjeni, činilo se sve izvesnijim da će teorijska fizika uskoro biti upotpunjena. Čule su se tvrdnje da se fizika dovršava ogromnom brzinom i da će njeni zakoni uskoro biti „uklesani u stenu“. Godine 1894, uvaženi eksperimentalni fizičar Albert Majkelson ustvrdio je kako je „većina glavnih temeljnih načela već čvrsto uspostavljena“, i naveo reči „eminentnog naučnika“ – a veruje se da je mislio na britanskog fizičara lorda Kelvina – po kome su preostali samo detalji u vezi s izračunavanjem pojedinih konstanti na veći broj decimala.¹ Godine 1900, Kelvin je izneo zapažanje da se na obzoru zapažaju „dva oblaka“ – jedan ima veze sa svojstvima kretanja svetlosti, a drugi s aspektima zračenja koje emituju objekti kada se ugriju,² ali opšte mišljenje bilo je da su posredi detalji koji će se, nesumnjivo, uskoro rešavati.

Za samo desetak godina sve se promenilo. Kao što je predviđeno, za dva problema na koja je Kelvin skrenuo pažnju ubrzo je počelo da se traži rešenje, ali pokazalo se da ti problemi nisu tako mali. Svaki je pokrenuo revoluciju, a rešenje je iziskivalo korenito redefinisavanje zakona prirode. Klasični koncepti prostora, vremena i stvarnosti koji su stotinama godina ne samo važili, nego su i precizno izražavali našu intuitivnu spoznaju sveta – bili su opovrgnuti.

Relativistička revolucija usmerena na prvi od Kelvinovih „oblaka“ datira iz 1905. i 1915. godine, kada je Albert Ajnštajn dovršio svoje dve teorije o specijalnoj i opštoj relativnosti (poglavlje 3). Ajnštajn je shvatio, dok se mučio sa zagonetkama o elektricitetu, magnetizmu i kretanju svetlosti, da Njutnovom konceptu prostora i vremena, kamenu temeljcu klasične fizike, nešto nedostaje. U nekoliko nedelja intenzivnog istraživanja u

proleće 1905, zaključio je da prostor i vreme nisu apsolutni, kako je smatrao Njutn, nego da su prepleteni i relativni i da ta njihova priroda izmiče svakodnevnom iskustvu. Desetak godina kasnije, Ajnštajn je zadao završni udarac njutnovskoj fizici izmenivši zakone fizike gravitacije. Ajnštajn je pokazao da su prostor i vreme deo celine, ali i da uvijanjem i krivljenjem učestvuju u kosmičkoj evoluciji. U Ajnštajnovoj reviziji prostor i vreme su fleksibilni i dinamički – ni približno nalik rigidnim, nepromenljivim strukturama kakve je zamislio Njutn.

Dve teorije relativnosti svrstavaju se u najvrednija dostignuća ljudskog roda, i Ajnštajn je pomoću njih svrgnuo s trona Njutnov koncept stvarnosti. Iako se činilo da je njutnovska fizika bila matematički odraz našeg fizičkog iskustva, ispostavilo se da stvarnost koju opisuje nije stvarnost našega sveta. Naša stvarnost je relativistička. Ipak, kako se odstupanje između klasične i relativističke stvarnosti ispoljava samo u ekstremnim uslovima (na primer, pri ogromnim brzinama ili snažnoj gravitaciji), njutnovska fizika i dalje omogućava aproksimaciju koja je izuzetno tačna i korisna u mnogim okolnostima. Ali korisnost i stvarnost dva su sasvim različita standarda. Ispostavilo se da su odlike prostora i vremena koje mnogi od nas vide kao lice prirode, zapravo iluzije pogrešne njutnovske perspektive.

Kvantna stvarnost

Druga anomalija na koju je ukazao lord Kelvin izazvala je kvantnu revoluciju, jedan od najvećih preobražaja koji je pretrpelo moderno ljudsko razmišljanje. Kada su puške utihnule i dim se raščistio, furnir klasične fizike ustupio je mesto novom teorijskom modelu kvantne stvarnosti.

Centralni zaključak klasične fizike glasi: ukoliko znate pozicije i brzine svih objekata u određenom trenutku, pomoću Njutnovih jednačina u sprezi s Maksvelovom, možete odrediti njihove pozicije i brzine u svakom trenutku u prošlosti ili budućnosti. Prema zakonima klasične fizike nedvosmisleno se tvrdi da su prošlost i budućnost urezani u sadašnjost. Tu svest dele i specijalna i opšta relativnost. Iako su relativistički koncepti prošlosti i budućnosti delikatniji od svojih klasičnih, nama bliskijih pandana (poglavlja 3 i 5), jednačine relativiteta jednako ih celovito određuju zajedno sa sadašnjošću.

Međutim, do tridesetih godina prošlog veka, fizičari su bili primorani da uvedu potpuno nov koncept – *kvantnu mehaniku*. Sasvim neočekivano, otkrili su da samo kvantni zakoni mogu da razreše brdo zagonetki i da objasne sijaset podataka o atomskom i subatomskom svetu. Ali, prema kvantnim zakonima, čak i ako sprovedete najsavršenija moguća merenja u sadašnjem trenutku, u najboljem slučaju ćete predvideti *verovatnoću* stanja u kojima objekti mogu biti u datom trenutku u budućnosti ili u kojima su mogli biti u nekom prošlom trenutku. Prema kvantnoj mehanici, kosmos *nije* urezan u sadašnjost, već učestvuje u igri na sreću.

Iako se još uvek lome koplja oko toga kako tačno ova saznanja treba tumačiti, većina fizičara se slaže da je verovatnoća utkana u temelje kvantne stvarnosti. Ljudska intuicija i njeno otelovljenje u vidu klasične fizike vide stvarnost u kojoj su stvari uvek definitivno ovakve *ili* onakve, dok kvantna mehanika opisuje stvarnost u kojoj stvari ponekad lebde u izmaglici neodređenosti – delom su ovakve, a drugim delom onakve. Njihovo stanje postaje definitivno tek kada ih odgovarajućim merenjem nateramo da razreše kvantne mogućnosti i svedu se na jedan, konkretan ishod. Ali, taj ishod se ne može predvideti – predviđanje se svodi samo na verovatnoću jednog ili drugog stanja stvari.

To je, prostim jezikom rečeno – uvrnuto. Nismo navikli na stvarnost koja je dvosmislena dok ne sprovedemo merenje. Ali tu nije kraj uvrnutosti kvantne mehanike. Ništa manje čudan je fenomen o kome se prvi tragovi mogu naći u radu koji je Ajnštajn napisao još 1935. godine s dvojicom mlađih kolega, Natanom Rozenom i Borisom Podolskim. Reč je bila o napadu na kvantnu teoriju.³ U odnosu na naučni napredak koji je usledio, Ajnštajnov rad se sada može smatrati jednim od prvih tekstova koji su upućivali na to da kvantna mehanika, na prvi pogled, sugeriše da nešto što radite na jednom mestu može *trenutno* da se poveže s nečim što se dešava na drugom mestu, bez obzira na udaljenost. Ajnštajn je to trenutno povezivanje smatrao budalaštinom i činjenicu da sledi iz kvantne teorije smatrao je dokazom da je kvantnoj mehanici potrebno mnogo dorađivanja da bi dobila prihvatljiv oblik. Do početka šezdesetih godina, teorijski i tehnološki razvoj omogućio je eksperimentalnu proveru kvantnih apsurdnosti i istraživači su potvrdili da je *moguće* trenutno povezivanje dešavanja na dve udaljene lokacije. Ono što je Ajnštajn smatrao apsurdnim zaista se ostvarilo u savršenim laboratorijskim uslovima (poglavlje 4).

Implikacije ovih aspekata kvantne mehanike po našu predstavu o stvarnosti, predmet su aktuelnih istraživanja. Mnogi naučnici – među njima i ja – smatraju ih delom radikalnog kvantnomehantičkog ažuriranja značenja i svojstava prostora. Razdvojenost u prostoru bi, normalno, ukazivala na fizičku nezavisnost. Ukoliko želite da kontrolišete šta se zbiva na drugoj strani fudbalskog terena, morate da odete tamo, ili, barem da pošaljete nekoga ili nešto preko terena kako biste ostvarili svoj uticaj (pomoćnog trenera, molekule koji se sudaraju da prenesu ono što govorite, blesak svetlosti da biste privukli nečiju pažnju itd.). U suprotnom, odnosno ako ste i dalje prostorno izolovani, nećete uticati, jer prostor između vas i onoga što se dešava na drugom delu terena izvesno onemogućava fizičku vezu. Kvantna mehanika to dovodi u pitanje otkrivajući kapacitet za prevazilaženje prostorne udaljenosti, barem u određenim okolnostima; kvantne veze dalekog dometa mogu da premoste prostornu razdvojenost. Dva objekta mogu se naći na velikoj prostornoj udaljenosti, ali što se kvantne mehanike tiče, ona su poput jedinstvenog entiteta. Povrh toga, zbog bliske veze između prostora i vremena koju je otkrio Ajnštajn, kvantne veze mogu imati i vremenske pipke. Uskoro ćemo razmotriti neke domišljate i čudesne nedavno izvedene eksperimente u kojima se istraživao veći broj zapanjujućih veza između prostora i vremena proizašlih iz kvantnomehantičke teorije – videćete koliko ubedljivo dovode u pitanje klasično, intuitivno viđenje sveta koje mnogi od nas dele.

Uprkos brojnim impresivnim saznanjima, preostaje jedna od fundamentalnih odlika vremena – da, po svemu sudeći, vreme teče od prošlosti ka budućnosti – za koju ni relativnost ni kvantna mehanika nisu ponudili objašnjenje. Umesto toga, jedini uverljiviji napredak u istraživanju ovog fenomena ostvaren je u oblasti fizike zvanog kosmologija.

Kosmološka stvarnost

Jedan od osnovnih ciljeva fizike oduvek je bio otvaranje očiju čoveka za pravo lice prirode. Teško je zamisliti iskustvo zahtevnije za naše umove od uviđanja da je stvarnost kakvu doživljavamo samo odraz prave stvarnosti. Ali fizika ima i jednako važan zadatak da objasni elemente stvarnosti koji su, zapravo, predmeti našeg iskustva. Na osnovu našeg protračavanja kroz istoriju fizike, mogli biste pomisliti da je to već ostvareno,

da su dostignućima na polju fizike pre 20. veka objašnjena svakodnevna iskustva. To je donekle tačno. Ali daleko smo od punog razumevanja, čak i kad je reč o svakodnevici. A među elementima svakodnevnog iskustva koji se opiru potpunom objašnjenju jeste i jedan koji nas uvodi u jednu od najdubljih nerazrešenih misterija moderne fizike – misteriju koju je veliki britanski fizičar ser Artur Edington nazvao *strela vremena*.⁴

Zdravo za gotovo uzimamo da postoji smer u kom se procesi odvijaju u vremenu. Kad se jaje slomi, ne može se vratiti u pređašnje stanje; sveća se može istopiti, ali se ne može vratiti u stanje pre topljenja; sećanja su o prošlosti, nikada o budućnosti; ljudi stare, nikad se ne podmlađuju. Te asimetrije upravljaju našim životima. Razlika između napred i nazad u vremenu dominantan je element stvarnosti kakvu doživljavamo. Kada bi se za napred i nazad u vremenu mogla primeniti ista simetrija kakvu opažamo za levo i desno, svet se ne bi mogao prepoznati. Jaja bi se odslo-mljavala u istoj meri u kojoj se lome; sveće bi se vraćale u neistopljeno stanje onoliko često koliko se tope; budućnosti bi se sećali onoliko koliko i prošlosti; ljudi bi se podmlađivali onoliko često koliko stare. Takva stvarnost s vremenskom simetrijom sigurno nije naša stvarnost. Ali otkud vremenska asimetrija? Šta je uzrok ovom najosnovnijem od svih svojstava vremena?

Poznati i prihvaćeni zakoni fizike ne pokazuju takvu asimetriju (poglav-lje 6) i oba vremenska smera – napred i nazad – tretiraju na isti način. To je izvor goleme *zagonetke*. Jednačine fundamentalne fizike ni u naznakama ne tretiraju jedan vremenski smer drugačije od drugog, a to je sasvim suprotno od svega što doživljavamo.⁵

Iako je reč o nama bliskoj odlici svakodnevnog života, za najubedljivi-je razrešenje ovog mimoilaženja između fundamentalne fizike i svakod-nevnog iskustva neophodno je da razmotrimo događaj najudaljeniji od našeg doživljaja stvarnosti – početak kosmosa. O toj neophodnosti govorio je u svojim delima veliki fizičar 19. veka, Ludvig Bolcman, a posle njega su istu temu razrađivali mnogi istraživači, pre svih britanski matemati-čar Rodžer Penrouz. Kao što ćemo videti, moguće je da su posebni fizički uslovi rađanja kosmosa (veoma uređeno okruženje u trenutku Velikog praska ili neposredno posle njega) odredili smer vremena – kao kada se navijanjem, odnosno zavrtanjem opruge, časovnik dovede u početno sta-nje velikog stepena uređenosti što omogućava da otkucava unapred. Zato, u smislu koji ćemo precizno objasniti, činjenica da se jaje može slomiti,

ali nikada se ne može odslomiti, ide u prilog tezi o početnim uslovima kosmosa pre oko 14 milijardi godina.

Ova neočekivana veza između svakodnevnog iskustva i ranog kosmosa omogućava da sagledamo zašto se događaji zbivaju u jednom vremenskom smeru, a nikad u obrnutom, ali ne objašnjava u potpunosti misteriju strele vremena. Umesto toga, ona premešta zagonetku u oblast kosmologije – nauke o poreklu i evoluciji celoga kosmosa – i tera nas da utvrdimo da li se kosmos u vreme nastanka našao u okruženju izuzetne uređenosti, koja je neophodna prema ovakvom objašnjenju strele vremena.

Kosmologija je jedan od najstarijih predmeta ljudskog interesovanja. To nije čudno – mi smo pripovedači, a ima li veličanstvenije priče od one o stvaranju? Tokom poslednjih nekoliko milenijuma, verske i filozofske tradicije širom sveta proizvele su pravu riznicu raznih verzija objašnjenja kako je sve počelo – kako je nastala vasiona. I nauka se, u svojoj dugoj istoriji, okušala na polju kosmologije. Ali Ajnštajnovo otkriće opšte relativnosti označilo je rađanje moderne naučne kosmologije.

Neposredno pošto je Ajnštajn objavio teoriju o opštoj relativnosti, zajedno sa ostalima ju je primenio na kosmos u celini. U roku od nekoliko decenija, njihovo istraživanje dovelo je do grubog teorijskog koncepta za ono što danas zovemo teorijom Velikog praska, pristupa kojim su uspešno objašnjeni mnogi aspekti astronomskih opažanja (poglavlje 8). Sredinom šezdesetih godina prošlog veka, pronađeni su novi dokazi u prilog kosmologiji Velikog praska, pošto je, baš po predviđanju iznetom u teoriji, opažen gotovo uniformni oblak mikrotalasnog zračenja koje prožima kosmos – nedostupan ljudskom oku, ali jednostavno izmeren detektorima mikrotalasnog zračenja. A do osamdesetih godina prošlog veka, posle decenije bližeg proučavanja i značajnog napretka u utvrđivanju reakcije osnovnih komponenata kosmosa na ekstremne promene u toploti i temperaturi, teorija Velikog praska je već bila učvrstila poziciju kao vodeća kosmološka teorija (poglavlje 9).

Uprkos uspesima, ta teorija je imala krupne nedostatke. Nije uspevala da ponudi odgovarajuće objašnjenje sveukupnog oblika kosmosa otkrivenog detaljnim astronomskim ispitivanjima, niti je davala odgovor na pitanje zašto je temperatura mikrotalasnog zračenja, intenzivno proučavanog otkad je otkriveno, po svemu sudeći ujednačena po nebu. Povrh toga, teorija Velikog praska nije davala nijedan ubedljiv razlog za mogući visoki stepen uređenosti kosmosa na samom njegovom početku, kakav je nalagalo objašnjenje strele vremena – i to je od presudnog značaja za našu priču.

Ta i druga otvorena pitanja podstakla su krupan napredak nauke s kraja sedamdesetih i početkom osamdesetih, i tako je nastala *inflatorna kosmologija* (poglavlje 10). Inflatorna kosmologija modifikuje teoriju Velikog praska dodajući munjevit i zapanjujuće intenzivnu ekspanziju u najranijim trenucima kosmosa (u ovom pristupu, kosmos se proširio preko milion biliona biliona puta za manje od milionitog bilionitog bilionitog dela sekunde). Uskoro ćete videti da se ovim drastičnim širenjem mladog kosmosa popunjavaju praznine u modelu Velikog praska – njime se objašnjava oblik kosmosa i ravnomernost mikrotalasnog zračenja, a i ukazuje na to da bi rani kosmos mogao biti izuzetno uređen, što nam omogućava da načinimo značajan napredak ka rasvetljavanju astronomskih opažanja i strele vremena u čijem smeru se odvija naš svakodnevni život (poglavlje 11).

I pored tih uspeha koji su inflatornoj kosmologiji učvrstili poziciju, ona je skrivala sramotnu tajnu. Poput standardne teorije Velikog praska koju je preobličila, inflatorna kosmologija počiva na jednačinama koje je Ajnštajn otkrio preko teorije relativnosti. Iako je moć Ajnštajnovih jednačina da tačno objasne velike i masivne objekte potvrđena u brojnim tomovima istraživačkih radova, fizičarima je odavno bilo jasno da je za tačnu teorijsku analizu malih objekata, poput vidljivog kosmosa u trenutku kada je bio star tek delić sekunde, potrebno primeniti kvantnu mehaniku. Međutim, kada se jednačine opšte relativnosti primene zajedno s jednačinama kvantne mehanike, rezultati su katastrofalni. Jednačine postaju potpuno neupotrebljive, i to nas sprečava da utvrdimo kako je kosmos rođen i da li su tada vladali uslovi neophodni da se objasni strela vremena.

Ne preterujem kada kažem da je ovakva situacija noćna mora teorijskih fizičara: nedostatak matematičkih alatki za analizu oblasti koja je od vitalnog značaja a nije dostupna za obavljanje eksperimenata. A kako su prostor i vreme tako temeljno prepleteni s tim nedostupnim područjem – kosmosom na samom njegovom početku – da bismo u potpunosti shvatili prostor i vreme, moramo da pronađemo jednačine koje mogu da se primene na ekstremne uslove ogromne gustine, energije i temperature kakvi su vladali u prvim trenucima života kosmosa. Po mišljenju fizičara, za taj zadatak od presudnog značaja potrebno je razviti takozvanu *objedinjenu teoriju*.

Objedinjena stvarnost

U proteklih nekoliko vekova, fizičari su pokušavali da konsoliduju naše razumevanje prirode pokazujući da različitim i naizgled specifičnim fenomenima upravlja isti skup fizičkih zakona. Ajnštajnu je taj zadatak objedinjavanja – objašnjavanja najšire palete fenomena pomoću minimuma fizičkih principa – postao doživotna strast. Posluživši se dvema teorijama relativnosti, Ajnštajn je objedinio prostor, vreme i gravitaciju. Ali taj uspeh ga je samo podstakao na krupnije ideje. Sanjao je o tome da nađe jedinstveni, sveobuhvatni koncept koji bi obuhvatio sve zakone prirode. Nazvao ga je objedinjena teorija. Iako bi se povremeno čule glasine o tome da je Ajnštajn pronašao objedinjenu teoriju, te tvrdnje su se pokazivale neosnovanim – Ajnštajnov san nije se ostvario.

Ajnštajnov fokus na objedinjenu teoriju u poslednjih trideset godina njegovog života udaljio ga je od prvog plana fizike. Mnogi mlađi naučnici smatrali su njegovu upornu potragu za najvećom od svih teorija bulažnjem velikog čoveka koji je s godinama skrenuo s puta. Ali u decenijama posle Ajnštajnovе smrti, sve više fizičara nastavlja njegovu nedovršenu potragu. Danas se dovršavanje objedinjene teorije smatra jednim od najvažnijih zadataka teorijske fizike.

Fizičarima je mnogo godina glavna prepreka u definisanju objedinjene teorije bio fundamentalni konflikt između dva velika dostignuća fizike 20. veka: opšte relativnosti i kvantne mehanike. Iako se ova dva teorijska koncepta obično primenjuju za sasvim različita okruženja – opšta relativnost se odnosi na velike oblike poput zvezda i galaksija, dok kvantna mehanika funkcioniše za male stvari kakve su molekuli i atomi – zagovornici jedne ili druge teorije tvrde da je njihova teorija univerzalna i primenljiva za sva okruženja. Međutim, već sam pomenuo: kad god se teorije primene zajedno, kombinacijom njihovih jednačina dobijaju se besmisleni rezultati. Na primer, kada se uz opštu relativnost primeni kvantna mehanika da bi se izračunala verovatnoća odigravanja dva međusobno isključiva procesa uslovljena gravitacijom, često se kao odgovor ne dobija verovatnoća od – na primer – 24, 63 ili 91 posto, već kombinovani matematički mehanizmi daju beskonačnu verovatnoću. To ne znači da je verovatnoća

toliko velika da se kladite na taj događaj ulažući sve što imate. Verovatnoće preko 100 posto su besmislene. Proračuni koji za rezultat imaju beskonačnu verovatnoću samo pokazuju da jednačine opšte relativnosti i kvantne mehanike u kombinaciji prestaju da važe.

Naučnici su više od pola veka svesni mimoilaženja između opšte relativnosti i kvantne mehanike, ali dugo vremena relativno malo njih je osećalo pobudu da traga za rešenjem. Većina istraživača primenjivala je opštu relativnost isključivo za analizu velikih i masivnih objekata, a kvantnu mehaniku jedino za analizu malih i lakih objekata, pazeći da dve teorije ostanu daleko jedna od druge da se ne bi sukobile. Tokom godina, ovaj pristup s detantom omogućio je zadivljujući napredak u našem razumevanju svakog domena pojedinačno, ali nije doneo trajan mir.

Postoji mali broj fenomena – ekstremnih situacija koje istovremeno zadiru u domen masivnih i majušnih objekata – koje nedvosmisleno leže u demilitarizovanoj zoni i za njih je neophodno kombinovano primeniti opštu relativnost i kvantnu mehaniku. Dva najpoznatija primera su središte crne rupe, tačka u koju se čitava zvezda urušava pod sopstvenom težinom, i Veliki prasak, trenutak u kome je, kako se smatra, ceo kosmos bio sažet u grumen daleko manji od jednog atoma. Bez uspešnog objedinjenja opšte relativnosti i kvantne mehanike, okončanje zvezda koje se urušavaju i početak kosmosa zauvek bi ostali nedokučivi. Mnogi naučnici bili su spremni da zaborave na ove fenomene, ili barem da jedno vreme ne razmišljaju o njima dok se ne prevaziđu drugi, lakše rešivi problemi.

Ali nekolicina istraživača nije mogla da čeka. Sukob među nama poznatim zakonima fizike znači neuspeh da dosegneмо duboku istinu i to je bilo dovoljno da ovi naučnici nemaju mira. Međutim, oni koji su krenuli u tu avanturu, zašli su u duboke vode i jake struje. Istraživanja dugo vremena nisu donosila veliki napredak, i nije bilo razloga za optimizam. I pored toga, isplatila se istrajnost onih dovoljno odlučnih da se drže tog puta i da održavaju san o objedinjavanju opšte relativnosti i kvantne mehanike. Naučnici sada hitaju stazama koje su utabali ti istraživači i zaokružuju skladan spoj zakona dva sveta, velikih i malih stvari. Pristup za koji mnogi smatraju da je vodeći kandidat jeste teorija superstruna (poglavlje 12).

Kao što ćemo videti, teorija supestruna nastaje iz predloga novog odgovora na staro pitanje: šta je najmanji, nedeljivi konstituent materije?

Mnogo decenija vladalo je mišljenje da se materija sastoji od čestica – elektrona i kvarkova – kojie se mogu predstaviti nevidljivim tačkama bez veličine i unutrašnje strukture. Po konvencionalnoj teoriji (potkrepljenoj rezultatima eksperimenata), ove čestice se kombinuju na razne načine da bi formirale protone, neutrone i razne atome i molekule od kojih se sastoji sve na šta smo dosad naišli. U teoriji superstruna stoji drugačije. Ne poriče se ključna uloga elektrona, kvarkova i drugih vrsta čestica otkrivenih u eksperimentima, ali se tvrdi da te čestice nisu tačke. Po teoriji superstruna, svaka čestica se sastoji od malenog končića energije, nekih stotinu milijardi milijardi puta manjeg od jednog atomskog jezgra (mnogo manjeg nego što trenutno možemo izmeriti), u obliku male strune. Kao što violinska žica može da vibrira po različitim obrascima od kojih svaki daje drugačiji muzički ton, niti teorije superstruna mogu da vibriraju po različitim obrascima. Ali ovim vibracijama ne nastaju različite muzičke note, nego se – gle, čuda – stvaraju različita svojstva čestica. Majušna struna koja vibrira po jednom obrascu imala bi masu i naelektrisanje elektrona; prema teoriji struna, takva vibrirajuća struna bila *bi* ono što tradicionalno nazivamo elektron. Majušna struna koja vibrira po drugom obrascu imala bi potrebna svojstva da se proglaši kvarkom, neutronom ili nekom drugom vrstom čestice. Sve vrste čestica objedinjene su teorijom superstruna pošto svaka nastaje usled drugačijeg obrasca vibriranja jednog istog entiteta.

Pomeraj od tačaka ka strunama koje su tako male da liče na tačke možda se ne čini preterano značajnom promenom perspektive. Ipak, jeste takva. Od takvih skromnih početaka, teorija superstruna kombinuje opštu relativnost i kvantnu mehaniku u jedinstvenu, konsistentnu teoriju, bez pogubnog mnoštva mogućnosti koje su upropašćavale prethodne pokušaje objedinjavanja. I, kao da to nije dovoljno, teorija superstruna otkrila je svoj domet neophodan da utka sve sile prirode i svu materiju u jedinstveno teorijsko tkanje. Ukratko, teorija superstruna je vodeći kandidat za Ajnštajnovu objedinjenu teoriju.

Ovo su krupne tvrdnje i, ukoliko su tačne, predstavljaju džinovski korak napred. Ali najdivnija odlika teorije superstruna, zbog koje bi Ajnštajnu srce sigurno preskočilo, jeste njen dubok uticaj na razumevanje tkanja kosmosa. Kao što ćemo videti, objedinjenje opšte relativnosti i kvantne mehanike kakvo se predlaže teorijom supestruna ima matematičkog smisla samo ako našu predstavu prostorvremena podvrgnemo još

jednom preobražaju. Umesto tri prostorne i jedne vremenske dimenzije u našem svakodnevnom iskustvu, po teoriji superstruna treba baratati s *devet* prostornih i jednom vremenskom dimenzijom. A u još moćnijoj verziji teorije superstruna poznate kao *M-teorija*, za objedinjenje treba *deset* prostornih i jedna vremenska dimenzija – kosmička podloga sastavljena od ukupno jedanaest prostornovremenskih dimenzija. Pošto ne vidimo te dodatne dimenzije, teorija superstruna ukazuje na to da smo *do sada uspeli da sagledamo tek parčence stvarnosti*.

Naravno, to što je nedovoljno dokaza dobijenih opservacijama u prilog postojanju dodatnih dimenzija moglo bi da znači kako one ne postoje i da je teorija superstruna pogrešna. Međutim, takav zaključak bio bi suviše preuranjen. Decenijama pre otkrića superstruna, naučnici vizionari, među njima i Ajnštajn, razmišljali su o mogućim prostornim dimenzijama iza ovih koje vidimo, sugerišući gde bi mogle da se kriju. Teoretičari struna su u znatnoj meri unapredili ove ideje i utvrdili da bi dodatne dimenzije mogle biti toliko sabijene i samim tim premale da bismo ih registrovali okom ili bilo kakvom postojećom mernom aparaturom (poglavlje 12), ili bi možda mogle biti velike, ali nevidljive tehnikama kojima ispituujemo kosmos (poglavlje 13). Koji god scenario bio tačan, posledice su dalekosežne. Geometrijski oblici majušnih sabijenih dimenzija koji utiču na vibracije struna mogli bi da nam daju odgovore na neka od temeljnih pitanja – na primer, zašto naš kosmos ima zvezde i planete. A prostor koji je posledica dodatnih prostornih dimenzija mogao bi da bude okruženje za nešto još izuzetnije: druge, obližnje svetove – ne obližnje u prostoru koji mi nastanjujemo, nego u obližnjim dodatnim dimenzijama kojih do sada uopšte nismo bili svesni.

Ideja o postojanju dodatnih dimenzija, premda smela, nije tek puka teorijska maštarija. Uskoro bi se mogle stvoriti mogućnosti da se ta ideja testira. Ukoliko dodatne dimenzije postoje, one bi mogle dovesti do spektakularnih rezultata eksperimenata sa razbijačima atoma naredne generacije, poput prve mikroskopske crne rupe nastale ljudskom rukom, ili stvaranja raznovrsnih, do sada neotkrivenih vrsta čestica (poglavlje 13). Na osnovu tih i drugih egzotičnih rezultata mogli bismo da dobijemo prve dokaze o postojanju dimenzija iza onih koje neposredno opažamo, koji bi nas povelj jedan korak bliže ka teoriji superstruna kao dugo priželjkivanj objedinjenoj teoriji.

Ukoliko se potvrdi da je teorija superstruna tačna, moraćemo prihvatiti činjenicu da je stvarnost kakvu poznajemo tek tanušna zavesa preko gustog kosmičkog tkanja bogate teksture. Uprkos Kamijevoj tvrdnji, određivanje broja prostornih dimenzija, a naročito potvrđivanje pretpostavke da ih nema samo tri, bilo bi mnogo više od naučno interesantnog detalja. Otkriće dodatnih dimenzija pokazalo bi da smo i pored svog ljudskog iskustva potpuno nesvesni osnovnog i presudnog aspekta kosmosa. To bi snažno upućivalo na mogućnost da i oni elementi kosmosa koje smo smatrali lako dostupnim ljudskim čulima ne moraju biti takvi.

Prošla i buduća stvarnost

Razvoj teorije superstruna daje nadu istraživačima da ćemo najzad naći teorijsku postavku koja će odoleti svim uslovima koliko god ekstremni bili, omogućavajući nam da se jednog dana osvrnemo u prošlost pomoću naših jednačina i da saznamo kako je kosmos izgledao u trenutku rađanja. Do danas, niko nije stekao toliku veštinu u ovoj teoriji da bi je bez nedoumica primenio na Veliki prasak, ali je razumevanje kosmologije u skladu s teorijom postalo je jedan od najvažnijih prioriteta današnjih istraživanja. Tokom proteklih nekoliko godina, intenzivni istraživački programi širom sveta rezultovali su novim kosmološkim teorijskim okvirima (poglavlje 13), ukazali su na nove načine provere teorije superstruna putem astrofizičkih opservacija (poglavlje 14), i omogućili da steknemo nekakvu predstavu o ulozi koju bi ova teorija mogla da ima u objašnjavanju strele vremena.

Kroz svoju presudnu ulogu koju ima u našem svakodnevnom životu i blisku vezu s počecima kosmosa, strela vremena je na jedinstvenom pragu između stvarnosti kakvu doživljavamo i finije stvarnosti koju pokušavamo da otkrijemo najnaprednijim naučnim mehanizmima. Zato je pitanje strele vremena crvena nit koja se provlači kroz mnoga otkrića o kojima ćemo govoriti, i stalno ćemo se susretati s njom u narednim poglavljima. To je normalno. Od mnogih faktora koji uobličavaju naše živote, vreme je među najdominantnijim. Kako budemo napredovali u savladavanju teorije superstruna i njenog produžetka, M-teorije, naši kosmološki uvidi će se produbljivati, stavljajući i poreklo i strelu vremena u sve oštrij fokus. Ako ne sputavamo našu maštu, možemo čak i da zamislimo da će naše

razumevanje jednog dana biti dovoljno duboko da možemo da jedrimo prostorvremenom, oslobođeni prostorno-vremenskih lanaca koji su nas sputavali milenijumima (poglavlje 15).

Naravno, verovatnoća da ćemo ikada imati takvu moć izuzetno je mala. Ali čak i ako nikada ne budemo u stanju da kontrolišemo prostor i vreme, duboko razumevanje daje nam posebnu moć. Naše sagledavanje prave prirode prostora i vremena bilo bi svedočanstvo kapaciteta ljudskog intelekta. Napokon bismo upoznali prostor i vreme – tihe, oduvek prisutne oznake najdaljih granica ljudskog iskustva.

Sazrevanje u prostoru i vremenu

Kada sam pre mnogo godina okrenuo poslednju stranicu *Mita o Sizifu*, iznenadilo me je osećanje optimizma s kojim je tekst ostavljao čitaoca. Čovek osuđen da gura kamenu gromadu uzbrdo svestan toga da će se ona otkotrljati natrag, te da će morati ponovo da je pogura nagore, nije priča za koju biste očekivali da će imati sretan kraj, zar ne? Ipak, Kami je našao duboku nadu u sposobnosti Sizifa da iskaže slobodnu volju, da zapne pred nepremostivim preprekama i da se drži svog izbora da preživi uprkos tome što je osuđen na apsurdni zadatak u ravnodušnom svemiru. Odbacujući sve iznad neposrednog iskustva, i prestajući da traga za bilo kakvim dubljim razumevanjem ili smislom, Sizif, po Kamiju, pobeđuje.

Do srži me je pogodila Kamijeva sposobnost da pronade nadu tamo gde bi većina nas videla jedino beznađe. Ali kao tinejdžer, a u potonjim decenijama mnogo izrazitije, uvideo sam da nisam mogao prihvatiti Kamijevu tvrdnju da dublje razumevanje kosmosa ne bi učinilo život bogatijim ili vrednijim življenja. Sizif je bio Kamijev heroj, a moji heroji postali su najveći među naučnicima – Njutn, Ajnštajn, Nils Bor i Ričard Fajnman. Kada sam pročitao Fajnmanov opis ruže u kome je objasnio da miris i lepotu tog cveta može da doživi u svoj punoći kao svako drugi, ali da njegovo poznavanje fizike izuzetno obogaćuje to iskustvo zbog svesti o čudu i divoti molekularnih, atomskih i subatomskih procesa koji se odigravaju ispod svega toga, bio sam neizlečivo navučen. Želeo sam ono što je Fajnman opisao: da sagledam život i da doživim kosmos na svim mogućim nivoima, ne samo na onim dostupnim našim slabašnim ljudskim čulima.

Potruga za najdubljim razumevanjem kosmosa postala je moja pokretačka snaga.

Kao profesionalnom fizičaru, odavno mi je već jasno da ima mnogo naivnosti u mojoj srednjoškolskoj zanesenosti fizikom. Fizičari, u načelu, ne provode radni dan razmišljajući o cveću u stanju kosmičkog strahopostovanja i snatrenja. Umesto toga, većinu vremena provodimo hvatajući se u koštac sa složenim matematičkim jednačinama nažvrljanim kredom preko izgrebanih školskih tabli. Napredak može biti spor. Obećavajuće ideje mnogo češće vode nikud nego nekud. Takva je sudbina naučnih istraživanja. Ipak, čak i u periodima minimalnog napretka, otkrio sam da sam zbog truda uloženog u zagonetke i proračune jedino osećao jaču vezu s kosmosom. Otkrio sam da se kosmos može spoznavati ne samo kroz rešavanje njegovih tajni nego i stapanjem s njima. Odgovori su odlična stvar. Eksperimentalno potvrđeni odgovori još su bolji. Ali čak i dokazano pogrešni odgovori rezultat su dubokog povezivanja s kosmosom – povezivanja koje baca jako svetlo na pitanja, a time i na sam kosmos. Čak i kad se kamen povezan s određenim naučnim istraživanjem otkotrlja natrag na početak, ipak nešto naučimo i obogatimo svoj doživljaj kosmosa.

Naravno, istorija nauke otkriva da se kamen našeg zajedničkog naučnog truda – uz doprinos nebrojeno mnogo naučnika širom sveta i kroz vekove – ne kotrlja natrag niz planinu. Za razliku od Sizifa, mi ne počinjemo od početka. Svaka generacija nastavlja gde je prethodna stala, odaje počast prethodnom ogromnom trudu, zaključcima i kreativnosti svojih prethodnika, i gura kamen još malo napred. Nove teorije i naprednija merenja obeležja su naučnog napretka, a takav napredak se nadovezuje na prethodne uspehe, gotovo nikad se ne kreće od nule. Zato je naš zadatak daleko od apsurdnog ili besmislenog. Gurajući kamen uz planinu, obavljamo najizuzetniju i najplemenitiju misiju: skidamo veo tajne s ovog mesta koje nazivamo dom, kako bismo uživali u čudima koja otkrivamo i predali naša saznanja onima koji dolaze posle nas.

Za vrstu koja je, posmatrano u kosmičkim razmerama, tek naučila da hoda uspravno, ovi izazovi su nepojmljivi. Ipak, tokom poslednjih trista godina, kako smo napredovali od klasične, preko relativističke, do kvantne stvarnosti, a sada počeli i s istraživanjem objedinjene stvarnosti, umom i instrumentima prešli smo preko širina prostora i vremena, približivši se više nego ikad ranije svetu koji se pokazao kao vešt majstor prerušavanja. I kako smo nastavili da lagano skidamo masku s lica kosmosa, uspostavili

smo intimnu vezu s njim koja nastaje samo u približavanju lucidnosti istine. Istraživanja nisu ni približno okončana, ali mnogi od nas smatraju da naša vrsta najzad stiže na kraj detinjstva.

Naše sazrevanje na obroncima Mlečnog puta⁶ je, nesumnjivo, odavno počelo. Na ovaj ili onaj način, istražujemo naš svet i razmišljamo o kosmosu hiljadama godina. Ali uglavnom smo pravili samo kratke izlete u nepoznato, vraćajući se kući mudriji, no pretežno nepromenjeni. Tek nam je genijalnost jednog Njutna omogućila da osvojimo teritoriju modernog naučnog istraživanja, i da se više nikada ne okrenemo za sobom. Od tada se samo uspinjemo. A sva naša putovanja počinju jednostavim pitanjem.

Šta je prostor?

Poglavlje 2

Kosmos i kofa

DA LI JE PROSTOR APSTRAKCIJA U LJUDSKOM UMU ILI STVARNOST?

Ne dešava se često da kofa vode bude u centru rasprave duge tri veka. Ali kofa koja je pripadala ser Isaku Njutnu nije tek tamo neka kofa, a mali eksperiment koji je opisao 1689. godine mnogo je uticao na neke od najvećih fizičara posle njega. Evo o kakvom eksperimentu je reč: uzmite kofu punu vode, privežite užu za nju tako da visi, uvrnite užu i pustite da se odmotava. Kofa počinje da se obrće, ali voda u njoj je nepomična – površina joj je mirna i ravna. Kako kofa ubrzava, njeno kretanje se postepeno prenosi na vodu putem trenja, tako da i voda počinje da se obrće. Površina vode se zato udubljuje – viša je pri obodu, niža u centru (slika 2.1).

Ovaj eksperiment nije nešto zbog čega će vam srce brže zakucati. Razmotrimo li malo tu situaciju, otkrićemo da je kofa s vodom koja se obrće izuzetno zbunjujuća. Preko tri veka pokušavamo da shvatimo ovaj fenomen kako bismo načinili jedan je od najvažnijih koraka u shvatanju strukture kosmosa. Moraćemo da se podsetimo nekih činjenica iz istorije fizike da bismo uvideli zašto je to tako, ali trud će se isplatiti.

Relativnost pre Ajnštajna

„Relativnost“ je pojam koji vezujemo za Ajnštajna, ali koncept datira iz davnijih vremena. Galilej, Njutn i mnogi drugi dobro su znali da je vektorska *brzina* – intenzitet i smer brzine – objekta, relativna. Modernim



Slika 2.1 Površina vode isprva je ravna i ostaje takva neko vreme pošto kofa počne da se obrće. Kada i voda počne da se obrće, njena površina postaje konkavna, i biće takva dok god se voda vrti, čak i kada kofa uspori i stane.

rečnikom opisano, iz perspektive golmana, lopta posle dobrog šuta može da mu se približava brzinom od 100 km/h. Iz perspektive lopte, golman se njoj približava brzinom od 100 km/h. Obe tvrdnje su tačne – stvar je samo u perspektivi. Kretanje ima smisla samo kao relativna veličina: brzina objekta se može odrediti jedino u odnosu na neki drugi objekat. To ste verovatno i sami doživeli. Ako sedite u vozu kraj kog je drugi voz i zapazite da se kreću jedan u odnosu na drugog, ne možete odmah reći koji voz se, zapravo, kreće. U opisu ovog fenomena, Galilej se pozivao na prevozna sredstva svog doba – brodove. Ispustite li novčić na brodu koji mirno plovi, udariće o vaše stopalo kao što bi i na kopnu – tako je pisao Galilej. Iz vaše perspektive, s pravom možete reći da mirujete i da to voda teče uz brodsko korito. Kako se iz te perspektive ne mičete, kretanje novčića u odnosu na vaše stopalo biće isto kakvo bi bilo pre nego što ste se ukrkali.

Naravno, pod određenim okolnostima možete osetiti i tvrditi da se izvan svake sumnje krećete, bez poređenja s okolnim objektima. Tako je, na primer, s ubrzanim kretanjem pri kome se menja i intenzitet i (ili) smer brzine. Ukoliko brod na kome se nalazite iznenada skrene na jednu ili drugu stranu, uspori ili ubrza, ili promeni smer usled zaokretanja, ili se nađe u viru i krene da se vrti oko sebe, izvesno znate da se krećete – nema

potrebe da gledate oko sebe i da poredite svoje kretanje s odabranom referentnom tačkom da biste to potvrdili. Čak i ako su vam oči zatvorene, znate da se krećete, jer osećate kretanje. Dakle, iako ne možete osetiti kretanje konstantnom brzinom u smeru koji se ne menja – odnosno, pravolinijskom putanjom – promene brzine možete osetiti.

Ali, razmislite li na trenutak o tome, uvidećete da tu ima nečeg čudnog. Zbog čega su promene brzine tako posebne, zašto same po sebi imaju značenje? Ukoliko je brzina nešto što dobija smisao samo kroz poređenje – time što kažemo da se nešto kreće u odnosu na nešto drugo – kako to da su promene brzine drugačije, te bez poređenja imaju značenje? Nadalje, može li biti da je poređenje neophodno? Da li je moguće da postoji neko posredno ili prikriveno poređenje na snazi svaki put kada se pozovemo na ubrzano kretanje ili ga iskusimo? To je centralno pitanje pred nama jer se – verovali ili ne – tiče najdubljih nedoumica o značenju prostora i vremena.

Galilej je svojim viđenjem kretanja, prevashodno tvrdnjom da se Zemlja kreće, navukao na sebe gnev Inkvizicije. Dekart, oprezniji, u svom delu *Principia Philosophiae* pokušao je da izbegne sličnu sudbinu i svoje shvatanje kretanja je postavio u dvosmisleni teorijski okvir koji nije izdržao Njutnovu detaljno preispitivanje tridesetak godina kasnije. Dekart je govorio o tome da se objekti opiru promeni stanja kretanja: ono što je nepomično ostaće nepomično dok ga nešto ili neko ne prisili da se pokrene; nešto što se kreće pravolinijski konstantnom brzinom kretaće se tako dok ga nešto ili neko ne prisili da promeni takvo kretanje. Ali šta tačno znači „nepomično“ ili „pravolinijsko kretanje konstantnom brzinom“, pitao se Njutn? Nepomično ili krećući se konstantnom brzinom – iz čije perspektive? Ako brzina nije konstantna, u odnosu na šta ili iz čije perspektive nije konstantna? Dekart je bio u pravu u pogledu nekih aspekata značenja kretanja, ali Njutn je uvideo da francuski naučnik nije odgovorio na ključna pitanja.

Njutn je toliko bio predan traganju za istinom da je jednom zabio tupu iglu između očne jabučice i kosti očne duplje kako bi proučavao anatomiju oka, a u poznijim godinama, kao upravnik Kraljevske kovačnice novca, izricao je najoštrije kazne falsifikatorima, poslavši ih preko stotinu na vešala. Nije trpeo pogrešno ili nedovršeno rasuđivanje pa je rešio da razjasni stvari. To ga je navelo na eksperiment s kofom.¹

Kofa

Poslednji put kada smo bacili pogled na kofu, obrtala se i ona i voda u njoj, a površina vode je bila udubljena. Njutn se zapitao zašto površina vode poprima takav oblik? Zato što se vrti, odgovorićete, i kao što vi osećate da ste prilepljeni za vrata automobila kada auto naglo zaokrene, tako je i voda pritisnuta o unutrašnju površinu kofe dok se ona vrti. A pritisnuta voda nema kud do nagore. Takvo rasuđivanje je opravdano, samo po sebi, ali ne dotiče suštinu Njutnovog pitanja. Njutna je zanimalo šta znači kad se kaže da se voda vrti: u odnosu na šta se vrti? Razmatrao je same osnove kretanja i nikako nije hteo da prihvati da za opažanje ubrzanog kretanja poput obrtanja nije potrebno poređenje objekta koji se obrće s drugim objektom.*

Čini se prirodnim da za referentni objekat uzmemo kofu. Ali Njutn je smatrao da to nije ispravno. Evo zašto: kad kofa tek počne da se vrti, izvesno postoji relativno kretanje između kofe i vode, jer voda miruje u početnom trenutku. Ipak, površina vode je ravna. Nešto kasnije, kada se i voda vrti i nema relativnog kretanja između kofe i vode, površina vode je udubljena. Dakle, uzmemo li kofu za referentni objekat, rezultat je suprotan od očekivanog: kada ima relativnog kretanja, površina vode je ravna; bez relativnog kretanja, površina je ulegla.

Zapravo, mogli bismo da dalje razradimo Njutnov eksperiment. Kako kofa nastavlja da se obrće, konopac će se u jednom trenutku ponovo uvrnuti (u suprotnom smeru), zbog čega će kofa da uspori i zaustaviće se na trenutak, dok će voda u njoj i dalje da se obrće. U tom trenutku, relativno kretanje između vode i kofe *isto* je kao na početku eksperimenta (uz nebitnu razliku između kretanja u smeru kazaljke na satu i kretanja suprotno od smera kazaljke na satu), ali površina je drugačija (prvobitno je bila ravna, a sada je udubljena); to pokazuje da se oblik površine vode ne može objasniti relativnim kretanjem.

* Ponekad se obrtno kretanje opisuje pomoću termina centrifugalna i centripetalna sila. Ali to su samo oznake. Namera nam je razjasnimo zašto se pri rotaciji javlja sila.

Pošto je odbacio kofu kao relevantan referentni objekat za kretanje vode, Njutn je smelo otišao korak dalje. Predložio je drugu verziju eksperimenta s kofom koja se obrće – u dubokom, hladnom, sasvim praznom prostoru. Takav eksperiment ne možemo da izvedemo u potpunosti, jer oblik površine vode delom zavisi od privlačne sile zemljine gravitacije, a u ovoj verziji eksperimenta ne predviđa se da jedan od elemenata bude Zemlja. Zato, da bi eksperiment bio bliži realnom, zamislimo ogromnu kofu – veliku poput ringišpila u luna-parku – koja lebdi u tmimi praznog prostora, i zamislimo da je za unutrašnju površinu kofe privezan neustrašivi astronaut Homer. (Njutn nije upotrebio ovaj primer nego je zamislio dva kamena privezana jedan za drugi, ali suština je ista.) Indikator obrtanja kofe, pandan potiskivanju vode nagore usled čega se njena površina udubljuje, jeste pritisak koji Homer *oseća* spram unutrašnje površine kofe, zatezanje njegove kože lica, blaga stisnutost stomaka, i usmerenost njegove kose (obe vlasi) ka površini kofe. Evo prvog pitanja: u sasvim praznom prostoru – bez Sunca, Zemlje, vazduha, krofni, ičega – šta uopšte može da posluži kao „nešto“ u odnosu na šta se kofa okreće. Isprva, pošto u zamišljenom prostoru nema ničeg sem kofe i onog što je u njoj, čini se da nema ničeg što bi poslužilo kao nešto drugo. Njutn nije tako mislio.

Rešenje je video u tome da kao relevantni referentni sistem definiše glavnu, krajnju „posudu“ – *sam prostor*. Zaključio je da proziran, prazan prostor u kome se sve nalazi i u kome se odvija celokupno kretanje postoji kao realan, fizički entitet, i nazvao ga je *apsolutni prostor*.² Ne možemo ga uhvatiti ni držati, liznuti ili omirisati, ali Njutn je ipak tvrdio da apsolutni prostor jeste nešto. Rekao je da je apsolutni prostor nešto što predstavlja najmerodavniji referentni sistem za opisivanje kretanja. Objekat je istinski nepomičan kada se ne kreće u odnosu na apsolutni prostor. Objekat se istinski kreće kada se kreće u odnosu na apsolutni prostor. A najvažnije je, kako je Njutn zaključio, da objekat istinski ubrzava kada ubrzava u odnosu na apsolutni prostor.

Njutn je tim predloženim rešenjem na sledeći način objasnio zemaljski eksperiment s kofom. Na početku eksperimenta, kofa se vrti u odnosu na apsolutni prostor, ali voda je u odnosu na apsolutni prostor nepomična. Zato je površina vode ravna. Kada voda dostigne brzinu obrtanja kofe, obrtaće se u odnosu na apsolutni prostor i zato njena površina postaje konkavna. Kada kofa uspori zbog usukanog užeta, voda nastavlja da se vrti – u odnosu na apsolutni prostor: zato je površina vode i dalje

konkavna. Dakle, iako se takav ishod ne može objasniti relativnim kretanjem vode u odnosu na kofu, objašnjenje daje relativno kretanje vode u odnosu na apsolutni prostor. Sam prostor je pravi referentni okvir za definisanje kretanja.

Kofa je samo jedan primer – ovakvo rasuđivanje je, naravno, daleko obuhvatnije. Prema Njutnovom stanovištu, kada automobil uđe u krivinu, osećate promenu brzine jer ubrzavate u odnosu na apsolutni prostor. Kad se nađete u avionu koji ubrzava uzlećući, osećate da ste pritisnuti o sedište jer ubrzavate u odnosu na apsolutni prostor. Kad se zavrte na klizaljka izvođeći piruetu, osećate kako vam se ruke šire od vas, jer ubrzavate u odnosu na apsolutni prostor. Nasuprot tome, kad bi neko uspeo da zavrte čitavo klizalište dok vi nepomično stojite (u idealizovanim uslovima, s klizaljka bez trenja), tako da se opet relativno krećete u odnosu na led, ruke vam se ne bi širile, jer ne biste ubrzavali u odnosu na apsolutni prostor. I, samo da bismo bili sigurni da vam pažnju neće skrenuti nevažni detalji u primerima s ljudskim telom, pomenimo i ovo: kada je Njutn užetom zavezao dva kamena i zavrteo ih u praznom prostoru, ono se zateglo jer kamenje ubrzava u odnosu na apsolutni prostor. Apsolutni prostor presuđuje da li se nešto kreće.

Ali šta je, zapravo, apsolutni prostor? Razmatrajući to pitanje, Njutn je posegnuo za umetničkim plesom i snagom zvanične odredbe. Prvo je u tekstu *Principia* napisao: „Ne definišem vreme, prostor, mesto ni kretanje, jer dobro su poznati svima“,³ izbegavši da pruži strog ili precizan opis ovih pojmova. Naredne njegove reči postale su čuvene: „Apsolutni prostor je, sam po sebi, bez reference na bilo šta spoljašnje, uvek sličan i nepokretan“. Drugim rečima – apsolutni prostor naprosto jeste, i biće zauvek. Tačka. Ali, naslućuje se da Njutn nije bio sasvim zadovoljan time što je samo objavio postojanje i važnost nečega što se ne može direktno videti, izmeriti niti se može na to uticati. Napisao je:

Zaista je veoma teško otkriti i potpuno razlikovati pravo kretanje pojedinih tela od prividnog, jer nam oblasti tog nepokretnog prostora u kome se odvija to kretanje nisu ni na koji način dostupne da ih opažamo našim čulima.⁴

I, tako, Njutn nas postavlja u pomalo nezgodan položaj. Postavio je apsolutni prostor u sredšte opisa najosnovnijeg i najbitnijeg elementa fizike – kretanja – ali nije ga jasno definisao i priznao je da je nezadovoljan

što je tako važno jaje stavio u krhku korpu. To nezadovoljstvo osećali su i mnogi drugi.

Stiska s prostorom

Kad neko upotrebi reč kao što je „crveno“, „tvrdo“ ili „razočaran“, rekao je Ajnštajn jednom prilikom, u suštini svi znamo šta ona znači. Ali reč „prostor“, „čija veza s psihološkim iskustvom nije tako direktna, tumači se s dalekosežnom nesigurnošću“.⁵ Ova nesigurnost seže daleko u prošlost: težnja da se ovlada značenjem prostora vuče korene još iz antičkog doba. Demokrit, Epikur, Lukrecije, Pitagora, Platon, Aristotel i mnogi njihovi sledbenici vekovima su se na razne načine borili sa značenjem prostora. Ima li razlike između prostora i materije? Da li prostor postoji nezavisno od toga postoje li materijalni predmeti? Postoji li prazan prostor? Da li su prostor i materija međusobno isključivi? Je li prostor konačan ili beskonačan?

Filozofsko raščlanjivanje prostora hiljadama godina se odvijalo uporedo s teološkim istraživanjima. Bog je, smatraju neki, sveprisutan, i ta ideja daje božanski aspekt prostoru. Tu školu mišljenja razvijao je Henri Mor, teolog i filozof iz 17. veka za koga neki misle da je možda bio i jedan od Njutnovih mentora.⁶ Zastupao je stanovište da prostor ne bi postojao kad bi bio prazan, ali smatrao je to opažanje nevažnim, jer čak i kad je lišen materijalnih predmeta, prostor je ispunjen duhom, te *nikada* nije istinski prazan. Sam Njtn je prihvatio jednu varijantu te ideje po kojoj je prostor ispunjen „duhovnom supstancom“ kao i materijalnom supstancom, ali oprezno je dodao da taj duhovni element „ne može biti prepreka kretanju materije; ne više nego kao da joj ništa ne stoji na putu“⁷. Njtn je objavio da je apsolutni prostor senzorijum Boga.

Takve filozofske i religijske meditacije o prostoru mogu biti ubedljive i izazovne, ali, kako je Ajnštajn oprezno napomenuo, nedostaje im kritična oštrina opisa. Ipak, iz tog diskursa izranja temeljno i precizno uobličeno pitanje: treba li prostoru pripisati nezavisnu stvarnost kakvu pripisujemo drugim, običnijim predmetima poput knjige koju sada držite u ruci, ili bi prostor trebalo smatrati tek jezikom za opisivanje odnosa između običnih materijalnih predmeta?

Veliki nemački filozof Gotfrid Vilhelm fon Lajbnić, Njutnov savremenik, čvrsto je verovao da prostor ne postoji ni u kakvom konvencionalnom smislu. Tvrdio je da je govor o prostoru samo lak i pogodan način kodiranja međusobnog položaja stvari. Ali bez predmeta u prostoru, on nema nezavisno značenje ni postojanje. Uzmimo za primer englesku abecedu. Ona je uređeni skup dvadeset šest slova, i definiše odnose između njih: *a* je pored *b*, *d* je šest slova ispred *j*, *x* je tri slova posle *u* itd. Ali abeceda bez slova nema nikakvo značenje – nema nikakvo nadslowo, nezavisno postojanje. Abecedu čine slova čije leksikografske odnose ona postavlja. Lajbnić je tvrdio da isto važi i za prostor: prostor nema značenje osim toga što pruža prirodni jezik za razlučivanje položaja predmeta. Prema Lajbniću, kada bismo uklonili sve predmete iz prostora, odnosno kada bi prostor bio sasvim prazan, to bi bilo besmisleno poput abecede kojoj nedostaju slova.

Lajbnić je izneo određen broj argumenata u prilog svom takozvanom *relacionističkom* stanovištu. Na primer, ako prostor zaista postoji kao entitet, kao supstancija u osnovi, Bog bi morao odlučiti gde tačno u toj supstanciji da smesti kosmos. Ali kako bi Bog, čije sve odluke imaju čvrsto opravdanje i nikada nisu slučajne ni proizvoljne, mogao razlikovati jedno mesto od drugog u tom jednolikom praznom prostoru, kad su sva slična? Naučno obrazovanom uhu taj argument ne zvuči uverljivo. Međutim, ako izostavimo teološki aspekt, što je i sam Lajbnić uradio u drugim svojim argumentima, ostaju nam teška pitanja. Gde je smešten kosmos u prostoru? Ako se kosmos pomakne kao celina, bez promene međusobnog položaja materijalnih predmeta – tri metra ulevo ili udesno – kako to da znamo? Kojom brzinom putuje kosmos kroz supstanciju prostora? Ako smo iz temelja nesposobni za opažanje prostora, kako možemo da tvrdimo da prostor zaista postoji?

Tu je uskočio Njutn s kofom i dramatično promenio karakter rasprave. Iako se Njutn slagao da je teško ili možda nemoguće direktno uočiti izvesna svojstva apsolutnog prostora, tvrdio je da samo postojanje apsolutnog prostora ima posledice koje se mogu pratiti: ubrzanje, poput onoga u primeru s kofom, meri se u odnosu na apsolutni prostor. Zato je, smatra Njutn, konkavni oblik površine kofe posledica postojanja apsolutnog prostora. Njutn dalje kaže da rasprava prestaje kada se pronađu čvrsti dokazi o postojanju nečega. Jednim dovtljivim potezom, Njutn je premestio raspravu iz oblasti filozofskih promišljanja u oblast naučno proverljivih

podataka. Rezultat je bio očigledan. Lajbnic je morao da prizna: „Priznajem da postoji razlika između apsolutnog istinskog kretanja tela i puke relativne promene njegovog stanja u odnosu na drugo telo“. ⁸ To nije bila kapitulacija pred Njutnovim apsolutnim prostorom, ali svakako je bio jak udarac čvrstom relacionističkom stanovištu.

Sledećih dvesta godina, argumenti Lajbnica i drugih protiv toga da se prostoru pripíše nezavisna stvarnost jedva da su nailazili na ikakav odjek.⁹ Klatno se jasno zanelo prema Njutnovom viđenju prostora; na scenu su stupili njegovi zakoni kretanja, zasnovani na njegovom konceptu apsolutnog prostora. Glavni razlog za njihovo prihvatanje nesumnjivo je bio uspeh s kojim su njima opisivana opažanja. Ipak, valja napomenuti da je Njutn mislio da su njegova dostignuća u fizici samo čvrst temelj za ono što je smatrao svojim istinski važnim otkrićem: apsolutni prostor. Što se njega tiče, sve se vrtelo oko prostora.¹⁰

Mah i značenje prostora

Kada sam bio dete, otac i ja bismo, šetajući ulicama Menhetna, igrali jednu igru. Jedan od nas bi se osvrnuo, krišom osmotrio nešto što se dešavalo – autobus u prolazu, goluba koji sleće na prozor, čoveka koji je slučajno ispuštio novčić – i opisao bi kako bi to izgledalo iz neke neobične perspektive, na primer posmatrano iz vizure točka autobusa, goluba u letu ili novčića koji pada na tlo. Zadatak je bio da se na osnovu neuobičajenog opisa – na primer: „Hodam po tamnoj, cilindričnoj površini okruženoj niskim, hrpavim zidovima, a s neba se spušta razbarušeni snop belih vitica“ – zaključi da je reč o gledištu mrava na hot-dogu koji ulični prodavač posipa seckanim kiselim kupusom. Iako smo toga prestali da se igramo godinama pre mog prvog predavanja iz fizike, ova igra je barem delimično kriva za to što me je susret s Njutnovim zakonima ozbiljno uznemirio.

Ta igra je podsticala da se svet posmatra iz različitih perspektiva, i isticala da su sve perspektive jednako merodavne. Ali, prema Njutnu, iako o svetu možete da razmišljate iz koje god pozicije želite, različite tačke gledišta nisu ni u kom slučaju jednako valjane. Iz pozicije mrava na klizaljci, vrti se i led i klizalište; za gledaoca na tribinama vrti se klizač. Čini se da su te dve tačke gledišta jednako merodavne, ravnopravne, da su u simetričnom odnosu jer se vrte jedna u odnosu na drugu. Ali, prema

Njutnu, jedna od tih perspektiva ispravnija je od druge jer se klizač ili klizačica čije se ruke šire *zaista* vrti, a kad bi se klizalište istinski vrtelo, klizačeve ruke se ne bi širile. Prihvatiti Njutnov apsolutni prostor značilo je prihvatiti apsolutan koncept ubrzanja, a pre svega prihvatiti apsolutan odgovor na pitanje ko ili šta se istinski vrti. Pokušavao sam da shvatim kako to može biti tačno. Svi izvori koje sam proučio – i iz udžbenika i od profesora – slagali su se da je samo relativno kretanje važno pri razmatranju konstantnog kretanja, pa sam razbijao glavu pitanjem kako je, onda, moguće da ubrzano kretanje bude bitno drukčije? Zašto relativno ubrzanje, poput relativne brzine, nije jedino relevantno pri razmatranju kretanja promenljivom brzinom? Iz postojanja apsolutnog prostora zaključuje se suprotno, ali meni se to činilo čudnim u samoj srži.

Mnogo kasnije, saznao sam da je proteklih nekoliko stotina godina veliki broj fizičara i filozofa – ponekad tiho, drugi put glasno – pokušavao da nađe odgovor na to pitanje. Premda se čini kako Njutnov eksperiment s kofom definitivno dokazuje to da apsolutni prostor presuđuje koja perspektiva je ispravna (ako se neko ili nešto vrti u odnosu na apsolutni prostor, onda se *zaista* vrti; u suprotnom, ne vrti se), to rešenje nije zadovoljilo mnoge koji su lupali glavu nad tim problemima. Osim intuitivnog utiska da nijedna perspektiva ne bi trebalo da je „ispravnija“ od neke druge, i vrlo razumnog Lajbnicovog predloga da samo relativno kretanje materijalnih predmeta jednih u odnosu na druge ima značenje, pojam apsolutnog prostora naveo je mnoge da se pitaju kako nam to apsolutni prostor omogućava da odredimo pravo ubrzano kretanje, kao u slučaju kofe, a ne i da odredimo pravo konstantno kretanje. Na kraju krajeva, ako apsolutni prostor *zaista* postoji, trebalo bi da nam obezbedi kriterijum za *svako* kretanje, a ne samo za ubrzano. Ukoliko apsolutni prostor *zaista* postoji, zašto nam ne pruži način da odredimo gde smo smešteni u apsolutnom smislu, ali tako da referentne tačke u odnosu na koje nam se određuje položaj ne budu drugi materijalni predmeti? I, ako *zaista* postoji, kako to da može da utiče na nas (tako da nam se, na primer, ruke šire kad se zavrtimo), a mi ne možemo da utičemo na njega?

U vekovima posle Njutna ponekad se raspravljalo o tim pitanjima, ali tek sredinom 19. veka, i kroz dela austrijskog fizičara i filozofa Ernsta Maha, izrodilo se hrabro, vizionarsko i izuzetno uticajno novo shvaćanje prostora koje će, između ostaloga, duboko uticati na Alberta Ajnštajna.

Da bismo razumeli Mahove uvide – preciznije rečeno, jedno moderno tumačenje ideja koje se često pripisuje Mahu* – vratimo se na trenutak našoj kofi. Nešto je čudno u Njutnovom argumentu. Eksperiment s kofom izaziva nas da objasnimo zašto je površina vode u jednoj situaciji ravna, a u drugoj udubljena. Tražeći objašnjenje, istražili smo te dve situacije i shvatili da je presudna razlika između njih u tome da li se voda vrti ili ne. Naravno, pokušali smo da objasnimo oblik površine vode prema načinu njenog kretanja. Ali, evo o čemu je reč: pre nego što je uveo apsolutni prostor, Njutn je razmatrao samo kofu kao moguću referentnu tačku za određivanje kretanja vode – videli smo da taj pristup nije bio uspešan. Međutim, postoje i druge referentne tačke koje bismo mogli upotrebiti za merenje kretanja vode: na primer, laboratoriju u kojoj se odvija eksperiment – njen pod, tavanicu i zidove. Ako eksperiment obavljamo na otvorenom, jednog sunčanog jutra, okolno drveće ili tlo na kome stojimo mogli bi da posluže kao stacionarna referentna tačka pomoću koje bi se odredilo da li se voda vrti. Ukoliko bismo eksperiment izvodili u kosmosu, stacionarne referentne tačke bile bi daleke zvezde.

To nas vodi do narednog pitanja. Da nije Njutn, možda, prebrzo ispraznio kofu i zanemario relativno kretanje na koje se spremno oslanjamo u svakodnevnom životu – na primer, relativno kretanje vode i laboratorije, ili vode i zemlje, ili vode i nepomičnih zvezda na nebu? Možda se takvim relativnim kretanjem *može* objasniti oblik površine vode i eliminisati potreba za uvođenjem pojma apsolutnog prostora? Takav niz pitanja postavio je Mah sedamdesetih godina 19. veka.

Da biste potpuno shvatili Mahovu tezu, zamislite da lebdite u svemiru, smireni, nepomični, bez osećanja težine. Pogled vam seže do dalekih zvezda – čini se da su sve savršeno nepomične. (Pravi zen.) A onda neko prolebdi kraj vas, zgrabi vas i zavrti. Primetićete dve stvari. Prvo, osetićete da ruke i noge teže da vam se udalje od tela, i ako ih opustite, skroz će se raširiti. Drugo, kad otvorite oči i pogledate zvezde, više vam

* Nema slaganja oko toga kakvi su tačno bili Mahovi stavovi o materijalu koji sledi. Neki njegovi radovi pomalo su nejasni, i pojedine ideje koje mu se pripisuju nastale su kasnijim tumačenjima njegovog rada. Pošto se čini da je on znao za ta tumačenja i nije ih korigovao, pojedini autori smatraju da se slagao s njihovim zaključcima. Ipak, možda će istorijski korektnije biti da kad god napišem „Mah je tvrdio“ ili „Mahove ideje“, pročitate „preovlađujuće tumačenje pristupa koji je podstakao Mah“.

se neće činiti da se ne kreću. Umesto toga, imaćete utisak da se vrte u velikim kružnim lukovima daleko na nebu. Dakle, vaše iskustvo otkriva blisku vezu između osećaja dejstva sile na telo i opažanja kretanja u odnosu na daleke zvezde. Setite se toga pri sledećem eksperimentu u drugačijem okruženju.

Sada zamislite da ste uronjeni u tminu *sasvim* praznog prostora: nema zvezda, nema galaksija, nema planeta, nema vazduha, ničega nema sem potpune tame. (Pravi egzistencijalizam.) Ako počnete da se vrtite, da li ćete ovog puta to osetiti? Da li će vam se ruke i noge raširiti? Naša iskustva u svakodnevnom životu upućuju na potvrđan odgovor: kada iz mirovanja (stanja u kome ne osećamo ništa) pređemo u stanje obrtanja, osećamo razliku jer nam se udovi šire. Ipak, ovaj primer drugačiji je od svega što smo doživeli. U kosmosu kakav poznajemo, uvek postoje i drugi materijalni predmeti, bilo oni koji su nam blizu, ili barem oni daleki (poput dalekih zvezda), koji mogu poslužiti kao referentne tačke za razna naša stanja kretanja. Ali u situaciji iz ovog primera, nema načina da razlikujemo stanje „neobrtanja“ od stanja „obrtanja“ poređenjem s drugim materijalnim predmetima – *nema* drugih materijalnih predmeta. Mah je to zapažanje shvatio ozbiljno i napravio divovski korak napred. Istakao je da u tom slučaju ni na koji način ne možete da *osetite* razliku između različitih stanja obrtanja. Preciznije, Mah je utvrdio da u inače praznom kosmosu nema razlike između obrtanja i neobrtanja – pojam kretanja i ubrzavanja ne postoji ako nema kriterijuma za poređenje – pa su obrtanje i neobrtanje isto. Prema Mahu, kada bismo dva Njutnova kamena povezana užetom zavrtili u praznom kosmosu, uže se ne bi zateglo. Ako biste se u praznom kosmosu zavrtili, ruke i noge vam se ne bi raširile, a tečnost u vašem srednjem uhu bi mirovala – ništa ne biste osetili.

To je duboka i instančana teza. Da bismo je shvatili, moramo istinski i predano da zamislimo crni, jednolični mir *sasvim* praznog prostora. To nije nalik mračnoj komori u kojoj osećate tlo pod nogama i oči vam se postepeno prilagođavaju tračku svetla što dopire ispod vrata; moramo da zamislimo kako nema nikakvih stvari, ni poda niti ikakvog svetla kome biste se prilagodili. Kuda god posegli ili pogledali, ništa ne osećate i ne vidite. U čauri ste jednolične tame, bez materijalnih kriterijuma za poređenje. Mah je tvrdio da bez takvih kriterijuma i sami pojmovi kretanja i ubrzanja gube značenje. Ovde je reč o osnovnijim postavkama a ne samo

o tome da ništa nećete osetiti ako se zavrтите. U praznom kosmosu nema razlike između stanja potpunog mirovanja i ravnomernog obrtanja.*

Naravno, Njutn se ne bi s tim složio. On je tvrdio da i sasvim prazan prostor ima *prostora*. I premda se prostor ne može dotaći niti neposredno uhvatiti, Njutn je govorio da ipak ima nešto u odnosu na šta se može reći da se materijalni predmeti kreću. Ali, prisetimo se kako je Njutn izveo taj zaključak: razmatrao je obrtno kretanje i *pretpostavio* da bi rezultati koji su nam poznati iz laboratorije važili i kad bi se eksperiment izveo u praznom prostoru (površina vode se udubljuje, Homer oseća da je pritisnut uz unutrašnji zid kofe, ruke vam se šire kad se zavrтите, a uže koje spaja dva kamena koja se vrte se zateže). Ta pretpostavka navela ga je da potraži nešto u praznom prostoru u odnosu na šta bi se kretanje moglo odrediti, a to nešto bio je sam prostor. Mah je odlučno doveo u pitanje ključnu pretpostavku: ustvrdio je da se ono što se događa u laboratoriji ne bi dogodilo u sasvim praznom prostoru.

Mah je postavio prvi značajan izazov Njutnovom delu posle više od dva veka i njegova zapažanja su godinama imala odjeka među fizičarima (dotičući i ostale: godine 1909, Vladimir Iljič Lenjin je napisao filozofski pamflet u kome je, između ostalog, raspravljao o nekim aspektima Mahovog rada¹¹). Ali, ako je Mah bio u pravu i pojam obrtanja ne postoji u praznom kosmosu – situacija koja bi opovrgla Njutново opravdanje apsolutnog prostora – kako objasniti zemaljsku kofu u kojoj se površina vode nesumnjivo udubljuje. Ako apsolutni prostor nije nešto, kako bi Mah objasnio deformisanje površine vode bez pozivanja na apsolutni prostor? Razmatranjem jednostavne primedbe na Mahovu logiku doći ćemo do odgovora.

* Iako volim primere s ljudima jer oni neposredno povezuju fiziku koju razmatramo i urođene osećaje, nedostatak im je naša sposobnost da kontrolisano pomeramo neki deo tela u odnosu na druge delove tela – tako da nam jedan deo tela služi kao referentna tačka za kretanje drugih delova tela (kao kad zavrtime ruke u odnosu na glavu). Ističem *ravnomerno* obrtno kretanje – obrtanje pri kome se svi delovi tela vrte zajedno – da bih izbegao takve nebitne komplikacije. Dakle, kad govorim o tome da vam se telo obrće, zamislite da vam se, poput Njutnovih kamenova povezanih užetom ili klizačice u završnoj pirueti nastupa na olimpijskim igrama, svi delovi tela obrću istom brzinom.

Mah, kretanje i zvezde

Zamislite kosmos koji nije sasvim prazan kao što je Mah hteo, nego je po nebu rasuto nekoliko zvezda. Ako sada izvedemo eksperiment s obrtanjem u kosmosu, zvezde – iako liče na blede tačkice svetla koje dopire iz velike udaljenosti – omogućavaju da se odredi vaše stanje kretanja. Ako se zavrтите, činiće vam se da te daleke tačkice svetla kruže oko vas. Pošto su te zvezde vizuelne referentne tačke koje omogućavaju da razlučite obrtanje od neobrtanja, očekivali biste i da možete osetiti stanje obrtanja. Ali, kako to šačica dalekih zvezda može imati ikakvog uticaja, kako njihovo prisustvo ili odsustvo može da deluje kao prekidač koji uključuje i isključuje osećaj obrtanja (ili uopštenije, osećaj ubrzanog kretanja)? Ako je nekoliko dalekih zvezda dovoljno da osetite obrtanje u kosmosu, možda je Mahova ideja, naprosto, pogrešna – možda biste i u praznom prostoru *osećali* da se vrtite, kako je pretpostavljao Njutn.

Mah je ponudio odgovor na tu primedbu. Prema Mahu, u praznom prostoru ne biste osetili ništa kad se zavrтите (preciznije rečeno, ne postoji čak ni pojam obrtanja, kao ni njemu suprotan pojam neobrtanja). Na drugom kraju spektra, u kosmosu koji vrvi od zvezda i drugih materijalnih predmeta što postoje u našem stvarnom kosmosu, osećate silu koja vam širi ruke i noge dok se obrćete. (Pokušajte da se zavrтите.) Međutim – a upravo o tome je reč – Mah je izneo ideju da bi u kosmosu koji nije prazan nego sadrži manje materije od našeg, intenzitet sile koju biste osetili dok se obrćete bio između nule i onog koji osećate u našem kosmosu. Dakle, sila koju osećate proporcionalna je količini materije u kosmosu. Kad biste počeli da se obrćete u kosmosu sa samo jednom zvezdom, jedva biste osetili neku silu. Kad bi postojale dve zvezde, sila bi bila nešto jača, i tako dalje, sve do kosmosa čiji bi materijalni sadržaj bio ravan onom u našem kosmosu – u njemu biste osetili dobro poznatu silu obrtanja punog intenziteta. Prema tome, sila koju osećamo usled ubrzanja zbirna je posledica uticaja sve preostale materije u kosmosu.

Ta tvrdnja važi za sve vrste ubrzanog kretanja, ne samo za obrtanje. Kada avion ubrzava duž piste, kad se automobil zaustavlja uz škripu kočnica, kad lift krene nagore, sila koju osećate je, ako je verovati Mahu,

kombinovani uticaj sve ostale materije u kosmosu. Kad bi bilo više materije, osećali biste jaču silu. Manje materije – slabija sila. A ako materije uopšte ne bi bilo, ništa ne biste ni osetili. Zato je, prema Mahovom rasuđivanju, važno samo relativno kretanje i relativno ubrzanje. *Ubrzanje osećamo samo kad ubrzavamo u odnosu na prosečnu raspodelu ostale materije u kosmosu.* Mah kaže da bez druge materije – bez ikakvih poredbenih referenci – ne bi bilo moguće doživeti ubrzanje.

Za mnoge fizičare, to je jedna od najprivlačnijih teza o kosmosu iznetih u proteklih stotinu pedeset godina. Generacijama fizičara bilo je teško da zamisle kako je nedodirljivo, nedosežno, neuhvatljivo tkanje kosmosa zaista nešto – i to dovoljno sadržajno da pruži konačan, apsolutan kriterijum kretanja. Mnogima se činilo apsurdnim, ili barem naučno neodgovornim da se poimanje kretanja temelji na nečem što u toj meri izmiče opažanju, toliko je nedostupnom našim čulima, da se već graniči s mističnim. Istovremeno, te iste fizičare mučilo je pitanje kako drugačije objasniti Njutnovu kofu. Mahove teze izazvale su zanimanje jer su omogućile novi odgovor u kome prostor nije nešto, a taj odgovor nas vraća na relativističko shvatanje prostora koje je zastupao Lajbnic. Prema Mahovom rasuđivanju, prostor je umnogome onakav kakvim ga je zamišljao Lajbnic – on je jezik za izražavanje odnosa između položaja dva predmeta. Ali prostor, kao ni azbuka bez slova, ne postoji nezavisno od svega.

Mah protiv Njutna

Za Mahove teze saznao sam kad sam studirao – bile su mi kao dar s neba. Najzad jedna teorija prostora i kretanja po kojoj su sve perspektive jednako vredne, jer samo relativno kretanje i relativno ubrzavanje imaju značenje. Umesto Njutnovog kriterijuma za kretanje – nečeg nevidljivog što se naziva apsolutnim prostorom – kriterijum koji je predložio Mah vidljiv je svima: to je materija raspoređena po celom kosmosu. Bio sam siguran da je Mah našao rešenje. Sznao sam i da nisam bio jedini koji tako misli; našao sam se u dugom nizu fizičara, uključujući Alberta Ajnštajna, koji su se oduševili kad su prvi put čuli za Mahove uvide.

Ima li Mah pravo? Da li se Njutn toliko ošamutio prateći obrtanje svoje kofe da je naprečac doneo zaključak o prostoru? Postoji li Njutnov apsolutni prostor ili se klatno nepokolebljivo vratilo u relacionističku

perspektivu? Prvih nekoliko decenija pošto je Mah izložio svoje ideje nije se moglo odgovoriti na ta pitanja. Razlog je pretežno bilo to što Mahov predlog nije bio zaokružena teorija ni potpun opis, jer on nikad nije definisao *kako* bi materijalni sadržaj kosmosa vršio pretpostavljeni uticaj. Ako je njegovo rasuđivanje ispravno, kako to daleke zvezde i susedova kuća pojačavaju vaš utisak da se vrtite kad se vrtite? Bez fizičkog mehanizma kojim bi se realizovalo ono što je Mah pretpostavljao, teško je iole precizno istražiti njegove teze.

Iz naše, moderne perspektive, razumno je pretpostaviti da bi u okolnostima koje je predočio Mah gravitacija sigurno morala da igra ulogu. Ta mogućnost je u narednim decenijama privukla Ajnštajnovu pažnju; Mahova teza bila mu je velika inspiracija kad je razvijao svoju teoriju gravitacije, opštu teoriju relativnosti. Kad se prašina oko relativnosti napokon slegla, pitanje da li je prostor nešto, odnosno da li je ispravna apsolutistička ili relativistička interpretacija prostora, pomelo je sve prethodne načine sagledavanja kosmosa.