

Elegantni kosmos

Dela Brajana Grina:

ELEGANTNI KOSMOS

TKANJE SVEMIRA

SKRIVENA STVARNOST

DO KRAJA VREMENA

Brajan Grin

Elegantni kosmos

*Superstrune, skrivene dimenzije
i potraga za konačnom teorijom*

Prevod

Ana Ješić

Aleksandar Dragosavljević



Naslov originala

Brian Greene: THE ELEGANT UNIVERSE

Copyright © 2003, 1999 by Brian R. Greene

Copyright © 2009, 2010, 2016, 2026. za srpsko izdanje, Heliks

Izdavač

Heliks

Za izdavača

Brankica Stojanović

Recenzent

Prof. dr Branko Dragović

Redaktor

Aleksandra Dragosavljević

Lektor

Vesna Đukić

Štampa

F.U.K., Beograd

Četvrto izdanje

Knjiga je složena
tipografskim pismima
Swift i Fairfield

ISBN: 978-86-6024-150-6

Smederevo, 2026.

www.heliks.rs

*Mojoj majci i uspomeni na mog oca,
s ljubavlju i zahvalnošću*

Sadržaj

Predgovor drugom izdanju ix

Predgovor xiii

Deo I: Na rubu saznanja

1. Povezani strunom 3

Deo II: Dilema o prostoru, vremenu i kvantima

2. Prostor, vreme i oko posmatrača 23

3. O krivinama i naborima 51

4. Mikroskopske ludorije 81

5. Potreba za novom teorijom: opšta relativnost naspram
kvantne mehanike 111

Deo III: Kosmička simfonija

6. Samo muzika: suština teorije superstruna 127

7. Šta je „super“ u superstrunama? 156

8. Više dimenzija nego što se može naslutiti 173

9. Neoborivi dokazi: eksperimentalni potpisi 197

Deo IV: Teorija struna i tkanje prostorvremena

- 10. Kvantna geometrija 217
- 11. Cepanje tkanja prostora 247
- 12. Više od struna: u potrazi za M-teorijom 265
- 13. Crne rupe: perspektiva teorije struna / M-teorije 300
- 14. Razmišljanja o kosmologiji 323

Deo V: Objedinjavanje u dvadeset prvom veku

- 15. Izgledi za budućnost 349

Napomene 365

Naučni pojmovnik 387

Spisak navedene ili preporučene literature 399

Indeks 401

Predgovor drugom izdanju

Dok sam pisao knjigu *Elegantni kosmos*, znao sam da možda neće imati mnogo čitalaca. Knjigom o izazovima i uspesima u savremenoj potrazi za najskrivenijim zakonima prirode, nećete se uspavljivati niti će vas zabavljati dok se sunčate na plaži. Moglo bi se očekivati da ni skromnijem krugu čitalaca ne bude privlačna knjiga u kojoj se tako apstraktna tema opisuje s naglašeno naučnog aspekta, a ne kroz život naučnika ili zanimljive priče iz istorije nauke. Ali, to me nije naročito brinulo, jer sam često sebi ponavljao (uz izvesnu melodramatičnost) kako ću biti zadovoljan uspem li da doprem do samo jedne osobe i predstavim joj novi spektar ideja, novi način razmišljanja o njoj samoj i njenom mestu u kosmosu. Nije važno da li je to učenik koji ne može odlučiti šta da studira, zaposleni koji traga za nečim što će ga odvući od svakodnevnog mrcvarenja, ili penzioner koji najzad ima vremena da čita o savremenim pravcima razvoja nauke – kad bih uspeo da ih povedem ka novom viđenju kosmosa koje izvire iz moderne fizike, pisanje *Elegantnog kosmosa* vredelo bi truda. Ta misao pomagala mi je u zahtevnim trenucima s kojima se mnogi autori susreću tokom pisanja ozbiljnog dela.

Podsticaj su mi davali i posetioci raznih mojih predavanja opšteg nivoa o relativizmu, kvantnoj mehanici i mojoj specijalnosti – teoriji superstruna – očarani neobičnim i zadivljujućim idejama proizašlim iz najsmelijih naučnih istraživanja. Kosmos čiji su prostor i vreme raste-gljivi, s više dimenzija nego što možemo opaziti, kosmos u kome se tkanje vremena i prostora može parati, u kome je možda sve načinjeno od

vibracija ultramikroskopskih energetske niti zvanih strune, zadivio je ljude i mnogi su poželeti da ga bolje razumeju. *Elegantni kosmos* izrastao je iz tih predavanja, jer sam hteo da napišem knjigu za one bez formalnog znanja iz matematike i fizike, kako bi im te oblasti postale bliske. Iako je prvi književni agent kome sam pokazao rukopis bez dvoumljenja odbio da se založi za knjigu – što je razumljivo, jer je pretpostavljao da je tematika previše stručna kako bi privukla većeg izdavača – tokom predavanja mogao sam osetiti snažno zanimanje slušalaca za nauku. Skoro da sam ga mogao opipati.

Dok sam pisao *Elegantni kosmos* iskoristio sam to zanimanje, a pozitivne reakcije na knjigu svedoče o urođenoj težnji mnogih od nas da temeljno i smelo istražujemo ovo mesto koje zovemo dom. Povrh toga, ova knjiga je potvrdila moje uverenje da fizika obezbeđuje piscu građu koja spada među najbolje što se može zamisliti. Svi volimo dobru priču. Obožavamo misterije koje nas stavljaju na muke. Svi se radujemo kad autsajder uporno gura napred iako su prepreke naizgled nepremostive. Svi mi, na neki način, tražimo smisao sveta oko nas. A svi ti elementi leže u srcu moderne fizike. Ta je priča veličanstvena – razotkrivanje čitavog kosmosa; jedna je od najvećih misterija – postanak kosmosa; izgledi kao da nikad nisu bili manji – dvonožna bića, u kosmičkim razmerama tek pridošlice, pokušavaju da otkriju eonske tajne; a potraga je gotovo nikad zahtevnija – traganje za osnovnim zakonima koji bi objasnili sve što vidimo, i više od toga, od najsitnijih čestica do najudaljenijih galaksija. Teško je zamisliti početnu tačku koja više obećava.

Laici često ne prave jasnu razliku između zastrašujućeg jezika – matematike – od koga je fizika izgrađena i zanosnih ideja s kojima se hvata u koštac. Ali, to bi bilo kao da ocenjujem knjigu *Haklberi Fin* čitajući je na grčkom. Iako stalno koristim grčki alfabet, ne znam ni reči grčkog, pa bi moj utisak o knjizi bio, u najmanju ruku, sumnjiv. Slično tome, kada se uklone matematičke prepreke, a koncepti moderne fizike iskažu se jezikom razumljivim svima, mnogi koji su mislili da ih nauka ne interesuje otkrivaju da ih opčinjava. Oslobođene od tehničke interpretacije, teme moderne fizike doslovno su univerzalne.

To postaje sve jasnije jer je fizika sve zastupljenija u kulturi – povećava se broj pozorišnih, muzičkih i književnih dela inspirisanih modernom naukom. Znam za desetak novijih pozorišnih komada, jedan koncert od četiri stava gudačkog kvarteta, mnoge filmove i brojne scenarije,

za jednu operu, niz slika i skulptura koje u različitoj meri izražavaju, tumače i nadograđuju ljudsku dramu naučnog putovanja. To je divno, ali ne mogu reći da me naročito iznenađuje. Oduvek su na mene silan utisak ostavljala umetnička dela koja su mogla snažno da prodrmajaju moj osećaj za stvarno i bitno, a ta shvatanja delim s mnogim ljudima koje sam sreo. Upravo takav uticaj imaju najznačajnija otkrića u fizici tokom poslednjih stotinu godina. Ne preterujem kada kažem da su relativnost i kvantna mehanika iznedrili zakone realnosti koje teorija superstruna – iako više spekulativna – preispituje iz temelja. Ne iznenađuje što slikari, pisci, kompozitori i filmski umetnici otkrivaju saglasje između svog dela i ovih naučnih izazova koji menjaju status quo.

To nije jednosmeran proces. Otkrića u fizici sporo se integrišu u kolektivno sagledavanje sveta. I danas, skoro sto godina kasnije, mnogi teško u potpunosti shvataju eksperimentalno potvrđena Ajnštajnova otkrića ili ona iz kvantne fizike. Umetnost bi mogla biti savršen medij za potpuno uvođenje nauke u svakodnevnu konverzaciju, pošto je hrabro prigrllila nauku, a to što sama duboko opčinjava koristi kako bi proizvela značajna zabavna dela. Moguće je i to da će umetnička dela inspirisana naukom dati novi podsticaj naučnoj imaginaciji i, na možda skriven način, pripremiti nas za naredni korak na putu ka shvatanju kosmosa. Menjanjem oštrog svetla koje obasjava nauku iz čisto strogog, numeričkog i kognitivnog ugla u mekše, neodređenije blistanje ljudskih osećaja, otvaraju se silne mogućnosti. Kada se nauka jasno prihvati kao sastavni deo onog što nas čini ljudima, naša veza s kosmosom biće znatno ojačana; zaista, nauka je nit koja nas sve upliće u tkanje realnosti.

Što se tiče napretka u teoriji superstruna, godine posle prvog izdanja *Elegantnog kosmosa* bile su posebno produktivne, ali tek treba da nastupi revolucija u razmišljanju koju mnogi naslućuju iza svakog ugla fizike. To ima i dobre i loše strane. Kada bih danas pisao knjigu o teoriji superstruna, izneo bih iste ideje – možda bih naglasio druge detalje, ali rezultat bi se malo razlikovao od *Elegantnog kosmosa*. Najznačajnije dve promene mogle bi biti poglavlje o zanimljivim novim idejama i jedno novo razmatranje. Prema tim idejama, strune i dodatne prostorne dimenzije čije postojanje proizlazi iz teorije struna, nešto su veće nego što se u načelu mislilo (ta se mogućnost tek uobličavala dok sam pisao *Elegantni kosmos*; predstavio sam je u kratkim crtama u raznim beleškama na kraju knjige). Razmotrio bih genijalan nov rad u kome se traga za preciznijom (takozvanom

neperturbativnom) formulacijom teorije struna. Dakle, dok čitate šesto, osmo i dvanaesto poglavlje, imajte na umu dve činjenice: strune i dodatne dimenzije možda nisu tako male kakvim ih predstavljam i napravljen je značajan pomak u nalaženju preciznih jednačina teorije o strunama (premda fizičari još uvek nisu uspjeli da pomoću tih jednačina reše ključne nedoumice predočene u navedenim poglavljima).

Negativna strana teksta kome nisu neophodne velike izmene, jeste to što mnoge prepreke opisane u njemu još uvek nisu prevaziđene. Iako svi želimo da napredak bude brz i drastičan, ovakvo stanje je potpuno očekivano. Teorija superstruna dotiče najfundamentalnije probleme u teorijskoj fizici, od kojih su mnogi izvan dometa eksperimentalnih istraživanja. Uspeh bi bio nesaglediv, jer bi se našli odgovori na najozbiljnija pitanja o kosmosu. Ali, napredak se može ostvariti samo uz velike napore, strpljenje, sreću i mnogo nadahnuća – a kada će se to desiti, i s koliko uspeha – možemo da nagađamo, ali ne možemo predvideti niti uticati na razvoj.

Možda će naša generacija uspeti da dosegne nivo željenog uvida. Moguće je da će se smeniti mnogo generacija pre nego što se to desi. Pouzdano možemo tvrditi samo to da nećemo dobiti odgovore ako ih ne potražimo. Sudeći po najtalentovanijim diplomcima koji počinju da se bave ovom oblašću, biće mnogo istraživača punih entuzijazma, spremnih da preuzmu štafetu i odmaknu dalje. Pokušavaćemo, revnosno ćemo se truditi da u godinama koje dolaze otkrijemo tajne kosmosa.

Predgovor

Tokom poslednjih trideset godina života, Albert Ajnštajn je bez posustajanja tragao za takozvanom objedinjenom teorijom polja – teorijom koja bi mogla da opiše sile prirode u jednom, sveobuhvatnom, koherentnom sistemu. Ajnštajna nisu motivisale stvari koje često povezujemo s naučnim poduhvatima, poput pokušaja da se objasni neki eksperimentalno dobijen podatak. Umesto toga, vodilo ga je strasno uverenje da će se kroz najdublje razumevanje vasiono otkriti njeno najveće čudo: jednostavnost i moć principa na kojima se zasniva. Ajnštajn je hteo da osvetli mehanizme funkcionisanja kosmosa jasnije nego iko pre kako bismo se mogli diviti njegovoj čistoj lepoti i eleganciji.

Ajnštajn nije ostvario taj san, uglavnom zato što mu podeljene karte nisu išle naruku: u njegovo vreme, mnoga ključna svojstva materije i mnoge sile prirode bile su ili nepoznate ili – u najboljem slučaju – površno tumačene. Ali, u drugoj polovini dvadesetog veka, fizičari su u svakoj narednoj generaciji – uz povremene prekide i skretanja u slepe uličice – upotpunjavali otkrića svojih prethodnika kako bi stekli celovitiju sliku o tome kako vasiona funkcioniše. Danas, mnogo godina pošto je Ajnštajn obznanio svoju potragu za objedinjenom teorijom polja koju nije krunisao uspehom, fizičari veruju kako su najzad pronašli okvir u kome će spojiti sva zasebna viđenja u bešavnu celinu – u jedinstvenu teoriju kojom će se, u načelu, moći objasniti sve pojave. Ta teorija, *teorija superstruna*, tema je ove knjige.

U knjizi *Elegantni kosmos* pokušao sam da predstavim izuzetne ideje koje iskrsavaju iz vodećih istraživanja u oblasti fizike širem krugu čitalaca, posebno onima koji nisu školovani za matematiku ili fiziku. Držeći otvorena predavanja o teoriji superstruna proteklih nekoliko godina, zapazio sam kako mnogi ljudi žele da shvate šta najnovija istraživanja kažu o osnovnim zakonima kosmosa, uviđaju kako ti zakoni uslovljavaju veličanstvenu promenu našeg poimanja kosmosa i kakvi izazovi nam predstoje u neprekidnoj potrazi za konačnom teorijom. Verujem da će ova knjiga, objašnjavajući glavna dostignuća fizike od vremena Ajnštajna i Hajzenberga, i opisujući kako su se njihova otkrića veličanstveno razgranala u smeđe naučne pomake našeg doba, obogatiti i zadovoljiti tu radoznalost.

Nadam se da će *Elegantni kosmos* biti zanimljiv i čitaocima koji imaju izvesna naučna predznanja. Nadam se i da će studentima i profesorima prirodnih nauka *Elegantni kosmos* razjasniti neke od osnovnih ideja moderne fizike, kao što su specijalna i opšta teorija relativnosti i kvantna mehanika, i pri tom otkriti zarazno ushićenje istraživača koji su sve bliži dugo priželjkivanoj objedinjenoj teoriji. Strastvenim čitaocima dela popularne nauke, pokušao sam da objasnim mnoge uzbudljive pomake u našem shvatanju kosmosa u poslednjoj deceniji. Što se tiče mojih kolega u drugim naučnim disciplinama, nadam se da će im ova knjiga pomoći da steknu realnu i uravnoteženu predstavu o tome zašto teoretičare struna toliko silno zanima napredovanje u potrazi za konačnom teorijom o prirodi.

Teorija superstruna obuhvata mnogo toga. To je obimna tema koja se oslanja na mnoga centralna otkrića u fizici. Pošto teorija superstruna ujedinijuje zakone koji vladaju u svetovima velikih i malih stvari, koji vode fiziku do najudaljenijih krajeva kosmosa i do najsitnijih delića materije, toj temi se može pristupiti na više načina. Odabrao sam da u središtu izlaganja bude naše sve opsežnije razumevanje prostora i vremena. Smatram da je to naročito uzbudljiv razvojni put čijim se krčenjem obelodanjuje pravo bogatstvo novih, značajnih ideja. Ajnštajn nam je otkrio svet u kome se prostor i vreme ponašaju na zadivljujuće neobičan način. Današnja najsmelija istraživanja integrisala su njegova otkrića u teoriju o kvantnom svemiru sa brojnim skrivenim dimenzijama ugrađenim u tkanje kosmosa, čija raskošno prepletena geometrija možda skriva odgovore na neka od najvažnijih postavljenih pitanja. Premda neki od ovih

konceptata nisu očigledni, videćemo da se mogu spoznati pomoću bliških analogija.

U čitavoj knjizi pokušavao sam da se držim nauke i da istovremeno usmeravam čitaoca – često kroz analogije i metafore – ka intuitivnom shvaćanju načina na koji su naučnici došli do današnje koncepcije kosmosa. Iako izbegavam tehničke izraze i jednačine, zbog radikalnih novih konceptata koje razmatram, čitalac će možda morati da povremeno zastane i dobro razmisli o ponekom odeljku ili se udubi u neko objašnjenje, kako bi potpunije shvatio razvoj ideja. Nekoliko odeljaka u delu IV (koji se tiče najnovijih dostignuća) nešto su apstraktniji od ostalih: pobrinuo sam se da unapred upozorim čitaoca na njih i da organizujem tekst tako da se mogu preskočiti ili samo površno pregledati, a da to minimalno utiče na logički tok knjige. Pridodao sam rečnik naučnih pojmova kao jednostavan i pristupačan podsetnik o idejama predstavljenim u glavnom izlaganju. Premda će manje temeljni čitaoci možda preskočiti beleške na kraju knjige, predaniji čitalac otkriće da one pojačavaju zaključke iz teksta, objašnjavaju ideje koje su uprošćeno predstavljene u knjizi, a poneke su stručni „izleti“ za one sa ozbiljnijim matematičkim predznanjem.

Dugujem zahvalnost mnogima koji su mi pomogli da napišem ovu knjigu. Dejvid Stajnhard pročitao je rukopis s velikom pažnjom i velikodušno mi pomogao britkim uredničkim savetima i dragocenim ohrabrenjima. Dejvid Morison, Ken Vajnberg, Rafael Kasper, Nikolas Bols, Stiven Karlip, Artur Grinspun, Dejvid Mermin, Majkl Popovic i Šani Ofen podrobno su išćitali rukopis i predložili detaljne sugestije koje su umnogome unapredile knjigu. Ostali koji su pročitali ceo rukopis ili njegove delove i zadužili me svojim savetima i ohrabrenjima jesu Pol Aspinvol, Persis Drel, Majkl Daf, Kurt Gotfrid, Džoša Grin, Tedi Džeferson, Mark Kamionkovski, Jakov Kanter, Andraš Kovač, Dejvid Li, Megan Makjuan, Nari Mistri, Hasan Padamsi, Ronen Pleser, Masimo Porati, Fred Šeri, Lars Streter, Stiven Strogac, Endru Strominger, Henri Taj, Kumrun Vafa i Gabrijele Venecijano. Posebnu zahvalnost dugujem Rafaelu Ganeru za njegova konstruktivna zapažanja na početku pisanja, koja su mi pomogla da uobličim knjigu, i Robertu Maliju na blagom ali upornom podsticanju da odem korak dalje od pukog razmišljanja o knjizi i da se „latim pera“. Stiven Vajnberg i Sidni Kolman dali su mi dragocene savete i ukazali pomoć. Sa zadovoljstvom se zahvaljujem i Kerol Arčer, Viki Karstens, Dejvidu Kaselu, En Kojl, Majklu Dankanu, Džejn Forman, Vendi Grin, Suzan

Grin, Eriku Jendresenu, Gariju Kasu, Šivi Kumar, Robertu Mohiniju, Pem Morhaus, Pjeru Ramonu, Amandi Sals i Irou Simončeliju. Mnogo dugujem i Kostasu Eftimiju zbog pomoći pri proveravanju činjenica i nalaženju referenci i Tomu Rokvelu koji je, sa strpljenjem dostojnim sveca i vrhunskom umetničkom veštinom, pretvorio moje skice u prateće ilustracije. Zahvaljujem i Endruu Hensonu i Džimu Setni na pomoći u pripremi nekoliko stručnijih slika.

Hauardu Džordžiju, Šeldonu Glašou, Majklu Grinu, Džonu Švarcu, Džonu Vileru, Edvardu Vitenu i, još jednom, Endruu Stromingeru, Kumrunu Vafi i Gabrijelu Venecijanu, hvala što su pristali da razgovaraju sa mnom i izneli lične stavove o mnogim temama koje sam obradio u ovoj knjizi.

Rado sam prihvatio napredna zapažanja i neprocenjive sugestije Angele fon der Lipe i oštroumne primedbe Trejsi Negl, mojih urednika u izdavačkoj kući V. V. Norton – obe su mnogo doprinele da tekst postane jasniji. Zahvaljujem i svojim agentima, Džonu Brokmanu i Katinki Metson, jer je pod njihovim stručnim rukovodstvom knjiga postala dostupna čitaocima.

Na petnaestogodišnjoj velikodušnoj podršci mojim istraživanjima u teorijskoj fizici, zahvaljujem Nacionalnoj fondaciji za nauku, Fondaciji Alfreda P. Sloana i američkom Ministarstvu energetike. Možda se i nisam slučajno u svom radu usredsredio na uticaj teorije superstruna na naše poimanje prostora i vremena; u nekoliko poglavlja opisao sam pojedina istraživanja u kojima sam imao sreće da učestvujem. Iako se nadam da će čitaoci uživati u svedočenjima neposrednog učesnika, shvatam da bi mogli steći utisak kako je moja uloga u razvoju teorije struna značajnija nego što jeste. Zato bih ovom prilikom napomenuo kako je na svetu hiljade fizičara koji su nezamenljivi i posvećeni učesnici u zahtevnom zadatku da se uobličí konačna teorija o vasioni. Izvinjavam se svima čiji rad nije ugrađen u materijal ove knjige; to je posledica perspektive iz koje ja sagledavam ovu temu i ograničenja koje nameće opšte razmatranje.

Na kraju, od srca se zahvaljujem Elen Arčer na njenoj beskrajnoj ljubavi i podršci, bez čega ova knjiga ne bi bila napisana.

Deo I

Na rubu saznanja

Poglavlje 1

Povezani strunom

Bilo bi previše dramatično nazivati to zataškavanjem. Ali, više od pola veka – čak i usred nekih od najvećih naučnih dostignuća u istoriji – fizičari su ćutke pratili tamni oblak koji se nadvijao nad horizontom. Problem je sledeći: savremena fizika počiva na dva kamena temeljca. Jedan je Ajnštajnova opšta teorija relativnosti, koja definiše teorijski okvir za shvatanje vasiona na najvišem nivou: na nivou zvezda, galaksija, galaktičkih jata, sve do zadivljujuće širine same vasiona. Drugi je kvantna mehanika, teorijska osnova za sagledavanje vasiona u najmanjim razmerama: u svetu molekula i atoma, sve do subatomskih čestica poput elektrona i kvarkova. U dugogodišnjim istraživanjima, fizičari su, sa skoro nezamislivom preciznošću, eksperimentalno potvrdili sva predviđanja ovih teorija. Ali, iste ove teorijske alatke neizbežno grade drugi zabrinjavajući zaključak: opšta relativnost i kvantna mehanika, onako kako su trenutno definisane, *ne mogu važiti istovremeno*. Dve teorije koje stoje iza izvanrednog napretka fizike u proteklih sto godina – objašnjenje širenja kosmosa i fundamentalne strukture materije – međusobno su neuskладive.

Ako niste do sada čuli za ovaj žestoki antagonizam, možda se u ovom trenutku pitate šta mu je uzrok. Odgovor nije teško shvatiti. Fizičari uvek (izuzev u najekstremnijim situacijama) proučavaju ili male i lake stvari (kao što su atomi i njihove komponente) ili stvari velike i teške (poput zvezda i galaksija), ali nikad i jedno i drugo u isto vreme. To znači da im je potrebna samo kvantna mehanika *ili* opšta relativnost i da mogu, sve

pogledajući ispod oka, odbaciti luckaste prekore suprotne strane. Pedeset godina ovaj pristup nije bio blažen koliko i neznanje, ali je bio prilično blizu tome.

Ali, vasiona *može* biti ekstremna. U središnjim dubinama crne rupe, golema masa se sažima do minijaturnih razmera. U trenutku Velikog praska, čitav kosmos se izlio iz mikroskopskog jezgra naspram koga zrnice peska izgleda kolosalno veliko. To je svet majušnih, a ipak neverovatno masivnih stvari na koje je neophodno primeniti i kvantnu mehaniku i opštu teoriju relativnosti. Sa svakom novom stranicom ove knjige, biće sve jasnije zašto spojene jednačine kvantne mehanike i opšte relativnosti počnu da se tresu, tandrču i puše se kao auto čiji je motor prokuvao. Ili, da se izrazim manje opisno – iz nesretnog spoja ove dve teorije dobijaju se besmisleni odgovori na razumna pitanja. Čak i ako ste spremni da ostavite unutrašnjost crne rupe i nastanak vasiona pod velom tajne, ne možete se odupreti osećaju da se netrpeljivost između kvantne mehanike i opšte relativnosti naprosto mora dublje razumeti. Zar je moguće da je svemir na najfundamentalnijem nivou podeljen i da za velike stvari važi jedan skup zakona, a za male drugi, bez dodirnih tačaka s prvim?

Teorija superstruna, novajlija u poređenju s dostojanstvenim, zrelim teorijama kvantne mehanike i opšte relativnosti, na prethodno pitanje odgovara *odrično*. U celom svetu, fizičari i matematičari su u protekloj deceniji obavljali intenzivna istraživanja i otkrili nov način opisivanja materije kojim se na najtemeljnijem nivou uklanja napetost između opšte relativnosti i kvantne mehanike. Teorija superstruna čini i više od toga: u tom novom okviru, opšta relativnost i kvantna mehanika *neophodne su jedna drugoj* da bi imale smisla. Prema teoriji superstruna, spoj zakona velikih i malih stvari ne samo da je sretan, već je i neizbežan.

To je dobra vest. Ali, teorija superstruna – kraće, teorija struna – vodi ovaj spoj korak dalje. Ajnštajn je tri decenije tražio objedinjujuću teoriju fizike koja bi utkala sve sile prirode i konstituente materije u jedinstvenu teorijsku tapiseriju. Nije uspeo. Danas, na početku trećeg milenijuma, pobornici teorije struna tvrde da su niti te neuhvatljive objedinjujuće tapiserije najzad spoznate. Teorija struna ima potencijala da pokaže kako su sva čudesna dešavanja u kosmosu – od neobuzdanog plesa subatomskih kvarkova do raskošnog valcera binarnih zvezda, od primordijalne vatrene lopte Velikog praska do fascinantnog vrtloga nebeskih galaksija – odrazi jednog veličanstvenog fizičkog principa, jedne vrhunske jednačine.

Pošto moramo drastično izmeniti svoje shvatanje prostora, vremena i materije ako hoćemo da spoznamo ta svojstva teorije struna, valja da se neko vreme navikavamo na njih. Kada se teorija struna sagleda u odgovarajućem kontekstu, ona postaje dramatičan, ali logičan izdanak revolucionarnih otkrića u fizici tokom poslednjih stotinu godina. Videćemo da konflikt između opšte relativnosti i kvantne mehanike nije prvi, već treći u nizu vodećih sukoba u prošlom veku – razrešenje svakog, zadivljujuće je izmenilo naše razumevanje svemira.

Tri sukoba

Prvi sukob, koji datira još s kraja devetnaestog veka, nastao je oko svojstava kretanja svetlosti. Ukratko: po Njutnovim zakonima kretanja, ako trčite dovoljno brzo, možete sustići zrak svetlosti, dok prema Maksvelovim zakonima elektromagnetizma to ne možete uraditi. U poglavlju 2 objasnio sam kako je Ajnštajn razrešio ovaj sukob pomoću specijalne teorije relativnosti, i potpuno preokrenuo naše shvatanje prostora i vremena. Prema specijalnoj teoriji relativnosti, prostor i vreme ne mogu se više posmatrati kroz univerzalne, nepromenljive koncepte koje svi doživljavamo na isti način. Po Ajnštajnu, oni su rastegljive konstrukcije čiji oblik i izgled zavise od kretanja posmatrača.

Razvoj specijalne teorije relativnosti postavio je pozornicu za naredni sukob. Jedan od Ajnštajnovih zaključaka glasi da nijedan objekt – tačnije, nikakvo dejstvo ili poremećaj bilo koje vrste – ne može putovati brže od svetlosti. Ali, u poglavlju 3 saznaćete da su Njutnovom eksperimentalno potvrđenom i intuitivno prihvatljivom teorijom gravitacije obuhvaćena i dejstva koja se *trenutno* prenose na velike daljine. Još jednom je Ajnštajn preuzeo stvar u svoje ruke i osmislio novi koncept gravitacije u svojoj opštoj teoriji relativnosti iz 1915. godine. Opšta teorija relativnosti iz korena je preokrenula dotadašnje viđenje prostora i vremena, kao i njena prethodnica – specijalna teorija relativnosti. Ne samo da prostor i vreme zavise od kretanja pojedinca, već se mogu uvijati i kriviti ako postoji materija ili energija. Videćemo da takvi poremećaji u tkanju prostora i vremena prenose silu gravitacije s jednog mesta na drugo. Zato se prostor i vreme ne mogu više posmatrati kao pasivna pozornica na kojoj se odigravaju kosmički događaji; naprotiv, specijalna

i opšta teorija relativnosti pokazuju da su prostor i vreme aktivni učesnici samih događanja.

Obrazac se još jednom ponovio: otkriće opšte relativnosti rešilo je jedan sukob, ali je izazvalo novi. U prve tri decenije dvadesetog veka, fizičari su razvili kvantnu mehaniku (predstavljenu u poglavlju 4), reakciju na brojne ozbiljne probleme koji su se javili kada bi se principi fizike devetnaestog veka primenili na mikroskopski svet. Kao što sam već pomenuo, treći i najdublji sukob nastao je usled neusklađenosti kvantne mehanike i opšte relativnosti. U poglavlju 5 videćete da blago zaobljena geometrijska forma prostora iz opšte teorije relativnosti nikako ne ide uz neobuzdano, razdraženo ponašanje mikroskopskog sveta kvantne mehanike. Pošto je teorija struna tek sredinom osamdesetih godina prošlog veka ponudila rešenje, ovaj sukob se s pravom naziva centralni problem moderne fizike. Da bismo shvatili teoriju struna, koja se nadograđuje na specijalnu i opštu teoriju relativnosti, neophodno je da bitno drugačije sagledamo koncept vremena i prostora. Na primer, većina prihvata zdravo za gotovo da naš svemir ima tri prostorne dimenzije. Ali, teorija struna se ne slaže s tim: po njoj, naš svemir ima mnogo više dimenzija nego što opažamo – a one su gusto upletene u uvijeno tkanje svemira. Ovakve predstave prostora i vremena toliko su važne da ćemo se njih držati u svim narednim objašnjenjima. Teorija struna je, u suštini, priča o prostoru i vremenu posle Ajnštajna.

Da biste na pravi način shvatili teoriju struna, moraćemo da napravimo korak unazad i ukratko objasnimo šta smo u proteklom veku naučili o mikroskopskoj strukturi svemira.

Svemir u najmanjim razmerama: šta znamo o materiji

Stari Grci smatrali su da je materija svemira sačinjena od majušnih nedeljivih komponenata koje su nazvali *atomi*. Pretpostavljali su da bi obilje materijalnih objekata, po analogiji sa ogromnim brojem reči u jeziku sa alfabetskim pismom sagrađenim od raznolikih kombinacija malog broja slova, moglo biti rezultat kombinacija malobrojnih, različitih, elementarnih gradivnih jedinica. Ispravna pretpostavka. Više od dve hiljade godina kasnije, još uvek verujemo da je to istina, premda se identitet tih najfundamentalnijih jedinica drastično menjao tokom vremena. U devetnaestom veku, naučnici su pokazali da mnoge poznate supstance

poput kiseonika i ugljenika sadrže najmanje komponente koje se mogu opaziti; sledeći tradiciju, nazvali su ih *atomi*. Ime se zadržalo, ali istorija je pokazala da je pogrešno: atomi su, sasvim izvesno, deljivi. Početkom tridesetih godina prošlog veka, u radovima Dž. Dž. Tomsona, Ernesta Raderforda, Nilsa Bora i Džejsma Čedvika predstavljen je solarni model atoma poznat mnogima od nas. Atomi, koji nisu ni približno najelementarniji konstituenti materije, sastoje se od jezgra s protonima i neutronima, okruženog rojem elektrona u orbitama.

Izvesno vreme, mnogi fizičari su smatrali da su protoni, neutroni i elektroni ti grčki „atomi“. Ali, 1968. godine, eksperimentatori na Univerzitetu Stanford, koristeći se sve većom moći tehnologije u istraživanju mikroskopskih dubina materije, pokazali su da ni protoni ni neutroni nisu fundamentalne čestice. Otkrili su da se oni sastoje od tri vrste manjih čestica zvanih *kvarkovi*: ovo čudno ime, preuzeto iz knjige *Fineganovo bdenje* Džejsma Džojasa, nadenuo je teorijski fizičar Mari Gel-Man, koji je još ranije pretpostavio njihovo postojanje. Eksperimentatori su potvrdili da postoje dva tipa kvarkova, nazvani – malo manje kreativno – *gornji* (engl. *up*) i *donji* (engl. *down*). Protoni se sastoje od dva gornja kvarka i jednog donjeg; neutron se sastoji od dva donja kvarka i jednog gornjeg.

Sve što vidite u zemaljskom svetu i na nebesima, po svemu sudeći, sastoji se od kombinacija elektrona i gornjih i donjih kvarkova. Nema eksperimentalnih dokaza da se neka od ove tri čestice sastoji od nečeg manjeg. Ali, postoje čvrste indikacije da svemir sadrži dodatne čestične konstituente. Sredinom pedesetih godina prošlog veka, Frederik Rins i Klajd Kouan otkrili su uverljiv eksperimentalni dokaz da postoji i četvrta vrsta fundamentalne čestice zvana *neutrino*, što je još ranih tridesetih godina dvadesetog veka predvideo Wolfgang Pauli. Ispostavilo se da je neutrine vrlo teško naći – to su pravi duhovi od čestica, jer vrlo retko stupaju u interakcije s materijom: neutrino prosečne energije lako može proći kroz olovo debljine više stotina biliona kilometara, a da to skoro uopšte ne utiče na njegovo kretanje. Pravo je olakšanje čuti to, jer dok čitate ove redove, milijarde neutrina poreklom sa Sunca prolaze kroz vaše telo i kroz Zemlju, na svom usamljeničkom putovanju po kosmosu. Krajem tridesetih godina prošlog veka, fizičari koji su proučavali kosmičke zrake (pljuskovne čestice koji bombarduju Zemlju iz svemira), otkrili su česticu nazvanu *mion* – koja se od elektrona razlikuje samo po tome što je od njega oko dvesta puta teža. Pošto mioni nisu potrebni ni za šta u

kosmičkom poretku, ni za kakvu nerešenu zagonetku, niti za neki kutak skrojen po njihovoj meri, nobelovac Isidor Isak Rabi, stručnjak za fiziku čestica, dočekaio je bez oduševljenja otkriće miona, i zapitao: „Ko je to tražio?“ Bez obzira na sve, mion je stigao. I to nije bio kraj.

Koristeći još moćniju tehnologiju, fizičari su nastavili da lome deliće materije s još većom energijom, u trenu stvarajući uslove nevidene još od Velikog praska. Među krhotinama su tražili nove fundamentalne sastojke da bi proširili sve veći spisak čestica. Evo šta su još otkrili: četiri nova tipa kvarkova – čarobni (engl. *charm*), čudni (engl. *strange*), dubinski (engl. *bottom*) i vršni (engl. *top*) – i novog, još težeg rođaka elektrona nazvanog *tau*, kao i dve čestice po svojstvima slične neutrinu (nazvane *mionski neutrino* i *tau-neutrino*, kako bi se razlikovale od izvornog neutrina, sada zvanog *elektronski neutrino*).

Ove čestice stvaraju se u visokoenergetskim sudarima i postoje samo kratko vreme; nisu konstituenti ničeg što obično srećemo. Ali, ni to nije sve. Za svaku od ovih čestica postoji *antičestica* – čestica iste mase, ali s pojedinim suprotnim svojstvima, kao što je naelektrisanje (i druge veličine definisane ostalim silama, kako je navedeno niže u tekstu). Na primer, antičestica elektrona je *pozitron*: ima istu masu kao elektron, ali njegovo naelektrisanje je +1, dok je naelektrisanje elektrona -1. Kada se spoje, materija i antimaterija anihiliraju i daju čistu energiju – zato u našem svetu vrlo retko možemo opaziti antimateriju.

Fizičari su uočili obrazac među ovim česticama, prikazanim u tabeli 1.1. Čestice materije svrstavaju se u tri grupe koje se često nazivaju *familije*. Svaka familija sadrži dva tipa kvarkova, elektron ili nekog od njegovih rođaka, i jednu vrstu neutrina. Izuzev mase, koja je najmanja u prvoj, a najveća u trećoj familiji, ostala svojstva srodnih vrsta čestica u različitim familijama identična su. Fizičari su do sada uspeli da ispituju strukturu materije dimenzija milijarditog dela milijarditog dela metra i pokazali su da se sve poznato – bilo da je nastalo prirodno ili veštački, u ogromnim uređajima za cepanje atoma – sastoji od nekakve kombinacije čestica iz ove tri familije i njihovih antičestica.

I površan pregled tabele 1.1 zbuniće vas više nego što je Rabija zbunilo otkriće miona. Razvrstavanje po familijama unosi izvestan red, ali brojna bitna pitanja i dalje su bez odgovora. Zašto ima toliko fundamentalnih čestica, naročito kada se čini da su najvećem broju stvari u svetu koji nas okružuje potrebni samo elektroni i gornji i donji kvarkovi? Zašto postoje tri

familije, a ne jedna ili četiri ili više? Zašto je raspodela mase čestica naizgled proizvoljna – na primer, zašto je tau oko 3.520 puta teži od elektrona? Zašto vršni kvark teži kao 40.200 gornjih kvarkova? To su čudni, naizgled slučajni brojevi. Da li iza njih zaista stoji slučajnost, nekakav božanski izbor ili postoji logično naučno objašnjenje za te osnovne odlike našeg kosmosa?

Familija 1		Familija 2		Familija 3	
Čestica	Masa	Čestica	Masa	Čestica	Masa
Elektron	0,00054	Mion	0,11	Tau	1,9
Elektronski neutrino	$< 10^{-8}$	Mionski neutrino	$< 0,0003$	Tau- neutrino	$< 0,033$
u-kvark	0,0047	c-kvark	1,6	t-kvark	189
d-kvark	0,0074	s-kvark	0,16	b-kvark	5,2

Tabela 1.1 Tri familije fundamentalnih čestica i njihove mase (izražene preko mase protona). Dosadašnji pokušaji da se eksperimentalno odredi masa neutrina bili su neuspešni. (Kvarkovi su označeni po početnom slovu njihovog engleskog imena.)

Sile – ili, gde je foton?

Stvari postaju komplikovanije kada uzmemo u obzir i sile prirode. Svet oko nas obiluje mehanizmima za ispoljavanje dejstva: loptice se mogu udarati palicom, bandži entuzijasti mogu da se bacaju s visokih platformi, magneti mogu da održavaju superbrze vozove neposredno iznad metalnih šina, Gajger-Milerov brojač može da otkucava u blizini radioaktivnog materijala, nuklearne bombe mogu da eksplodiraju. Na objekte možemo delovati tako što ćemo ih snažno gurati, vući ili tresti, bacati ili ispaljivati na njih druge objekte, razvlačiti ih, uvrutati ili lomiti, hladiti ih, zagrevati ili spaljivati. U proteklih stotinu godina, fizičari su prikupili brojne dokaze da se sve pomenute interakcije između raznih objekata i materijala, kao i milioni miliona drugih interakcija koje se svakodnevno odvijaju pred našim očima, mogu svesti na kombinacije četiri elementarne sile. Jedna od njih je *gravitaciona* sila. Ostale tri su *elektromagnetna*, *slaba* i *jaka sila*.

Gravitacija nam je najbližija od svih sila, s obzirom na to da zbog nje kružimo oko Sunca i stojimo sa obe noge na Zemlji. Masa objekta određuje kolikom gravitacionom silom on može da utiče na druge objekte i obrnuto. Sledeća poznata sila je elektromagnetna. Ona stoji iza svih pogodnosti modernog života – svetla, računara, televizije, telefona – i iza moćne prirodne pojave munja u oluji, kao i iza nežnog dodira ruke. Na mikroskopskom planu, naelektrisanje čestice za elektromagnetnu silu isto je što i masa za gravitaciju: određuje jačinu elektromagnetne pobude ili odziva čestice.

Jaka i slaba sila najmanje su nam poznate, jer su dometi njihovog dejstva subatomske – to su nuklearne sile. Zato su te dve sile otkrivene najkasnije. Jaka sila „lepi“ kvarkove unutar protona i neutrona; takođe, spaja protone i neutrone u atomskom jezgri. Slabu silu znamo kao silu odgovornu za radioaktivni raspad elemenata kao što su uranijum i kobalt.

Tokom prošlog veka, fizičari su otkrili da sve četiri sile imaju dve zajedničke odlike. Kao prvo, na mikroskopskom nivou postoji čestica koja predstavlja najmanji paket ili delić svake od četiri sile (podrobnije o tome u poglavlju 5). Ako ispalite laserski zrak – „pištolj sa elektromagnetnim zracima“ – ispaljujete tok *fotona*, najmanjih delića elektromagnetne sile. Slično tome, najmanje komponente slabe i jake sile jesu čestice koje nazivamo *slabi kalibracioni bozoni* i *gluoni*. (Ime gluon vrlo je deskriptivno: gluoni se mogu posmatrati kao mikroskopski sastojci jakog lepka – engl. *glue* – koji sprečava da se atomsko jezgro raspadne.) U eksperimentima izvršenim do 1984. godine, potvrđeno je da postoje ove tri vrste čestica sila i precizno su utvrđena njihova svojstva (tabela 1.2). Fizičari veruju da takva čestica postoji i za gravitacionu silu – to je *graviton* – ali to još uvek nije eksperimentalno potvrđeno.

<i>Sila</i>	<i>Čestica sile</i>	<i>Masa</i>
Jaka	Gluon	0
Elektromagnetna	Foton	0
Slaba	Slabi kalibracioni bozoni	86, 97
Gravitaciona	Graviton	0

Tabela 1.2 Četiri sile prirode, s pridruženim česticama i masama čestica izraženim preko mase protona. (Čestice slabe sile javljaju se u varijetetima s dve moguće mase, kao što je i navedeno u tabeli. Teorijska istraživanja pokazuju da graviton ne bi trebalo da ima masu.)

Druga zajednička odlika sila prepoznaje se u narednoj analogiji: kao što masa (naelektrisanje) određuje kako gravitacija (elektromagnetna sila) utiče na česticu, tako „naboj jake sile“ i „naboj slabe sile“ predstavljaju meru delovanja jake i slabe sile na česticu. (Ova svojstva detaljno su predstavljena u tabeli priloženoj u beleškama za ovo poglavlje.¹) Ali, i u ovom slučaju važi isto što i za mase čestica: fizičari jesu precizno izmerili pomenuta svojstva, ali niko ne ume da objasni *zašto* se naš kosmos sastoji baš od ovih čestica s takvim svojstvima.

Otkrivanje zajedničkih odlika veliki je pomak, ali i umnožava brojne nepoznanice u vezi sa silama. Na primer, otkud baš četiri osnovne sile? Zašto ih nema pet ili tri ili, možda, samo jedna? Zašto sile imaju tako različita svojstva? Zbog čega su jaka i slaba sila osuđene na to da deluju na mikroskopskom nivou, dok raspon delovanja gravitacije i elektromagnetne sile nije ograničen? I otkud tako velika razlika u intenzitetu ovih sila?

Da biste potpunije razumeli poslednje pitanje, zamislite da držite po jedan elektron u svakoj ruci i da te identično naelektrisane čestice primičete jednu drugoj. Gravitaciona sila će ih terati da se približe, dok će elektromagnetna sila delovati odbojno i težiti da ih razdvoji. Koja je jača? Odgovor ne ostavlja mesta sumnji: elektromagnetno odbijanje je jače milion milijardi milijardi milijardi milijarda puta (10^{42})! Ako biceps na vašoj desnoj ruci predstavlja jačinu gravitacione sile, onda bi biceps na levoj ruci morao da se protegne do kraja poznatog svemira kako bi predstavio jačinu elektromagnetne sile. Elektromagnetna sila nije sasvim nadvladala gravitaciju u našem svetu samo zato što se većina stvari oko nas sastoji od jednake količine pozitivnog i negativnog naelektrisanja čije se sile međusobno potiru. S druge strane, pošto je gravitacija uvek privlačna, ne postoji analogno poništavanje – više mase znači veću gravitacionu silu. Ali, gravitaciona sila je, u osnovi, izuzetno slabašna sila. (Zbog toga je postojanje gravitona teško eksperimentalno potvrditi – potraga za najmanjim delićem najslabije sile veliki je izazov.) Eksperimenti su pokazali i to da je jaka sila oko sto puta jača od elektromagnetne sile, a oko sto hiljada puta od slabe sile. Ali, šta je razlog – *raison d'être*? Zašto su kosmičke sile u ovakvim odnosima?

Ovo pitanje nije plod dokonog filozofiranja o tome zašto su stvari ovakve umesto onakve; svemir bi bio sasvim drugačije mesto kada bi svojstva čestica materije i sile bile čak i sasvim malo drugačije. Na primer, stabilnost jezgara oko stotinu elemenata iz periodnog sistema zavisi od

odnosa snaga između jakih i elektromagnetnih sila. Protoni stisnuti u atomskom jezgri elektromagnetno se odbijaju, ali jaka sila između kvarkova, od kojih se oni sastoje, srećom nadjačava ovo odbijanje i drži protone na okupu. Ali, neznatna promena u odnosu snaga ove dve sile lako bi narušila ravnotežu između njih i izazvala dezintegraciju većine atomskih jezgara. Povrh toga, da je masa elektrona nekoliko puta veća, elektroni i protoni težili bi da se kombinuju u neutrone, gojeći jezgro vodonika (najjednostavnijeg elementa u kosmosu, čije jezgro sadrži samo jedan proton) i sprečavajući stvaranje složenijih elemenata. Zvezde zavise od fuzije stabilnih jezgara i ne bi se mogle formirati kad bi nastupile takve promene u fundamentalnoj fizici. Jačina gravitacione sile takođe ima važnu ulogu u formiranju zvezda. Ogromna gustina materije u jezgri zvezde pokreće njenu nuklearnu peć i omogućava nastanak zvezdane svetlosti. Kada bi gravitaciona sila bila jača, jezgro zvezde bi se još čvršće steglo i bilo bi mnogo više nuklearnih reakcija. Ali, kao što velika vatra brže sagori od sveće, i zvezda poput Sunca bi se usled intenzivnijih nuklearnih reakcija pre istrošila, pa bi posledice na stvaranje života u nama znanom obliku bile pogubne. S druge strane, kada bi se jačina gravitacione sile znatno smanjila, materija se uopšte ne bi držala na okupu, pa se zvezde i galaksije ne bi mogle formirati.

Mogli bismo da nastavimo, ali već vam je jasno: svemir je takav kakav je zato što čestice materije i sila imaju ovakva svojstva. Ali postoji li naučno objašnjenje *zašto* imaju ovakva svojstva?

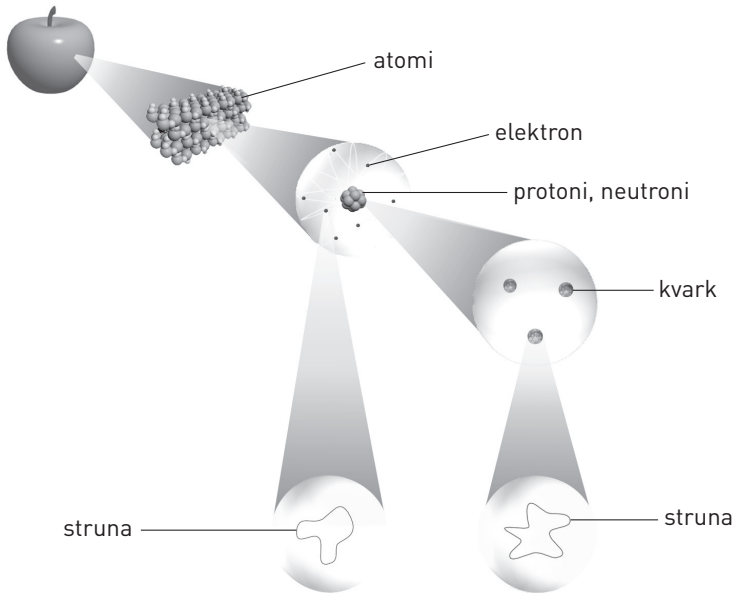
Teorija struna: osnovna ideja

U teoriju struna ugrađena je moćna konceptualna paradigma u kojoj se po prvi put nudi okvir za nalaženje odgovora na pomenuta pitanja. Razmotrimo prvo osnovnu ideju.

Čestice iz tabele 1.1 jesu „slova“ svekolike materije. Izgleda da nemaju unutrašnju strukturu, kao ni njihovi lingvistički pandani. Prema teoriji struna, ako bismo mogli da još preciznije istražimo ove čestice – s preciznošću mnogo većom od one koju omogućava moderna tehnologija – otkrili bismo da svaka čestica nije kao tačkica, već da je u obliku majušne jednodimenzionalne *petlje*. Poput beskonačno tanke gumice, svaka čestica

sadrži vibrirajuće, oscilirajuće, razigrano vlakno koje su fizičari, bez Gel-Manovog literarnog dara, nazvali *struna* (engl. *string*). Na slici 1.1 prikazana je ta ključna ideja o teoriji struna pomoću jedne obične materije, jabuke: pri svakom narednom uvećanju, otkrivaju se sve sitniji elementi na sve nižim nivoima u njenoj strukturi. Teorija struna dodaje novi, mikroskopski sloj – vibrirajuću strunu – u razlaganju atoma na protone, neutrone, elektrone i kvarkove.²

Iako se ne opaža na prvi pogled, ovom jednostavnom zamenom tačkastih konstituenata materije strunama, rešava se problem nekompatibilnosti kvantne mehanike i opšte relativnosti (u šta ćemo se uveriti u poglavlju 6). Dakle, teorija struna razvezuje Gordijev čvor moderne teorijske fizike. To je izuzetno dostignuće, ali je samo jedan od razloga što teorija struna pobuđuje takvo oduševljenje.



Slika 1.1 Materija se sastoji od atoma, koji su sastavljeni od kvarkova i elektrona. Prema teoriji struna, sve takve čestice predstavljaju majušne petlje vibrirajuće strune.

Teorija struna kao objedinjena teorija svega

U Ajnštajnovu vreme, jake i slabe sile još uvek nisu bile otkrivene; ipak, on je utvrdio da je postojanje i samo dve odvojene sile – gravitacije i elektromagnetizma – vrlo problematično. Ajnštajn nije mogao prihvatiti da je ustrojstvo prirode tako ekstravagantno. Zato je krenuo u tridesetogodišnju potragu za *objedinjenom teorijom polja* koja bi – nadao se – pokazala da su ove dve sile samo manifestacije jedinstvenog velikog načela. Ova donkihotovska potraga odvojila je Ajnštajna od glavnog toka fizike u kome je, razumljivo, bilo mnogo uzbudljivije uroniti u novu oblast, kvantnu mehaniku. Početkom četrdesetih godina prošlog veka, napisao je prijatelju: „Postao sam usamljen stari momak, poznat uglavnom po tome što ne nosi čarape, koga pokazuju kao čudaka u posebnim prilikama.“³

Ajnštajn je išao ispred svog vremena. Više od pola veka kasnije, njegov san o objedinjenoj teoriji postao je sveti gral moderne fizike. Zнатan broj fizičara i matematičara sve je sigurniji u to da bi teorija struna mogla doneti rešenje. Pomoću samo jednog principa – da se na mikroskopskom nivou sve sastoji od kombinacije vibrirajućih niti – teorija struna predočava jedinstven sistem kojim je moguće obuhvatiti sve sile i svu materiju.

Na primer, u teoriji struna iznosi se da su opažena svojstva čestica, navedena u tabelama 1.1 i 1.2, odraz različitih načina na koji struna može da vibrira. Klavirske žice ili strune violine imaju rezonantne frekvencije na kojima najradije vibriraju – sheme vibracija koje sluhom doživljavamo kao različite muzičke note i njihove više harmonike; isto važi i za petlje u teoriji struna. Ali videćemo da se svaka od preferiranih shema vibriranja umesto kao nota, ispoljava kao čestica čija su svojstva mase i sila određena shemom oscilovanja strune. Elektroni u struni vibriraju na jedan način, gornji kvarkovi na drugi itd. Svojstva čestice u teoriji struna nisu nipošto zbirka haotičnih eksperimentalnih uvida, već su odraz iste fizičke pojave: rezonantnih shema vibriranja – muzike, takoreći – fundamentalnih petlji strune. Isto se može primeniti i na sile u prirodi. Videćemo da se i česticama sile mogu pridružiti određene sheme vibriranja strune; dakle, sve – sva materija i sve sile – objedinjeno je pod istim svodom

mikroskopskih oscilacija struna. Sve što postoji, muzika je sačinjena od nota koje strune mogu da sviraju.

Prvi put u istoriji fizike imamo teorijsku potporu kojom se može objasniti svaka fundamentalna odlika na kojoj je svemir izgrađen. Zato se teorija struna ponekad pominje kao „teorija svega“ (engl. *Theory of Everything, T.O.E.*) ili „konačna teorija“. Ovi „ambiciozni“ pridevi ukazuju na najdublju teoriju fizike – teoriju koja je temelj svih ostalih teorija, i pored koje nije potrebno pa čak ni izvodljivo ponuditi dublju razjašnjavajuću osnovu. U praksi, mnogi teoretičari struna imaju skromniji stav i smatraju da je svrha teorije svega da objasni svojstva fundamentalnih čestica i osobine sila koje uzajamno deluju i utiču jedne na druge. Tvrdokorni redukcionista smatrao bi da nikakvog ograničenja nema, i da se, u načelu, sve – od Velikog praska do snova – može objasniti preko fundamentalnih mikroskopskih procesa koji obuhvataju osnovne konstituente materije. Ako znate sve o činiocima, tvrdi redukcionista, onda razumete sve što postoji.

Redukcionistička filozofija lako potpiruje vatrene rasprave. Mnogi smatraju luckastim i odbojnim tvrdnje da su čuda života i kosmosa samo odrazi besmislenog plesa mikroskopskih čestica u koreografiji zakona fizike. Da li je moguće da su zadovoljstvo, tuga ili dosada samo hemijske reakcije u mozgu između molekula i atoma, a one, gledano iz još umanjene mikroskopske perspektive, predstavljaju reakcije između čestica iz tabele 1.1, koje su, u suštini, samo vibrirajuće strune? Nobelovac Stiven Vajnberg je prilično racionalno odgovorio na ovakve kritike u knjizi *Snovi o konačnoj teoriji (Dreams of a Final Theory)*:

Na drugoj strani su protivnici redukcionizma koji se zgražaju nad onim što vide kao sumornu stranu nauke. Koliko god bilo moguće da se oni i njihov svet svedu na život čestica ili polja i njihovih interakcija, osećaju da se njihovo postojanje obesmišljava tim znanjem... Ne bih pokušavao da odgovorim na ove kritike vedrim pričama o lepota moderne nauke. Redukcionistički pogled na svet jeste hladan i otuđen. Mora se prihvatiti kakav jeste, ne zato što nam se sviđa, već zato što je to način na koji svet funkcioniše.⁴

Pojedinci se slažu s takvim krutim stavom, drugi ga odbacuju.

Ima naučnika koji smatraju da nam teorija haosa otkriva zakone nove vrste koji počinju da važe kada nivo složenosti sistema poraste. Jedno je

razumeti ponašanje elektrona i kvarka, sasvim drugo koristiti to znanje da bi se sagledalo ponašanje tornada. Većina se slaže s tim. Ali, mišljenja su neusaglašena o tome da li različiti i često neočekivani fenomeni koji se mogu javiti u sistemima složenijim od jedne čestice zaista predstavljaju nove fizičke principe, ili su ti principi izvedeni (makar i na užasno složen način) iz fizičkih principa koji upravljaju izvanredno velikim brojem elementarnih konstituenata. Smatram da oni ne predstavljaju nove i nezavisne zakone fizike. Bilo bi teško objasniti svojstva tornada preko fizičkih svojstava elektrona i kvarkova, ali ja tu vidim nepremostive prepreke u računanju, a ne potrebu za novim fizičkim zakonima. I u ovom slučaju, neki se ne bi složili s takvim stavom.

Čak i kada bismo prihvatili spornu logiku upornih redukcionista, van sumnje je, i primarno važna za putovanje opisano u ovoj knjizi, činjenica da je princip jedno, a praksa sasvim drugo. Skoro svi se slažu u ovome: kada bi se postavila teorija svega, to ne bi nikako rasvetlilo sva pitanja kojima se bave psihologija, biologija, geologija, hemija, čak i fizika. Kosmos je toliko čudesno bogato i složeno mesto da otkriće konačne teorije – u smislu predočenom na ovom mestu – ne bi označilo kraj nauke. Naprotiv, otkriće teorije svega – konačnog objašnjenja svemira na njegovom najsićušnijem mikroskopskom nivou, teorije koja se ne oslanja ni na jedno dublje objašnjenje – obezbedilo bi najčvršću osnovu na kojoj bi se moglo *izgraditi* ljudsko znanje o svetu. Njeno otkriće predstavljalo bi početak, a ne kraj. Konačnom teorijom obezbedio bi se postojani stub naučne usklađenosti, što bi nas uverilo da je svemir pojmljiv.

Stanje teorije struna

Prevashodna namena ove knjige je da objasni delovanje svemira prema teoriji struna, a posebno se naglašava kako ti rezultati utiču na naše shvatanje prostora i vremena. Za razliku od mnogih drugih izlaganja o naučnom razvoju, ovo nije posvećeno sasvim uobličenoj teoriji, potvrđenoj kroz snažna eksperimentalna testiranja, i potpuno prihvaćenoj u nauci. U narednim poglavljima uverićete se u to jer teorija struna ima tako duboku i prefinjenu teoretsku strukturu da nam i pored impresivnog napretka u prethodne dve decenije, još uvek predstoji dug put pre nego što obznanimo kako smo potpuno ovladali njome.

Teoriju struna treba posmatrati kao radnu teoriju, čiji su do sada precizno definisani delovi otkrili zadivljujuću prirodu svemira, vremena i materije. Skladno spajanje opšte relativnosti i kvantne mehanike ogroman je uspeh. Povrh toga, za razliku od prethodnih teorija, teorija struna ima kapacitet da odgovori na praiskonska pitanja o najosnovnijim činionicima i silama prirode. Jednako važna, iako donekle teže saglediva, jeste izuzetna elegancija i odgovora i teorijske potpore za odgovore koje teorija struna daje. Na primer, za mnoge aspekte prirode u teoriji struna koji na prvi pogled izgledaju kao proizvoljni tehnički detalji – na primer, broj činilaca fundamentalnih čestica i njihova svojstva – ispostavlja se da su rezultat suštinskih i opipljivih aspekata geometrije svemira. Ako je teorija struna tačna, mikroskopsko tkanje našeg svemira predstavlja raskošno zapetljan višedimenzionalni lavirint sačinjen od struna kosmosa što se uvijaju i vibriraju bez kraja, ritmično otkucavajući zakone vaseljene. Svojstva osnovnih gradivnih blokova prirode ni približno nisu tek slučajni detalji, već su duboko prožeta tkanjem prostora i vremena.

Međutim, jedino su merodavne definitivne, proverljive pretpostavke pomoću kojih se može odrediti da li je teorija struna zaista uklonila veo tajne s najdubljih istina o našem kosmosu. Možda će proći izvesno vreme pre nego što se naše razumevanje dovoljno produbi da taj cilj i ostvarimo, iako bi rezultati eksperimenata (videćete u poglavlju 9) mogli snažno i bitno podržati teoriju struna u narednih desetak godina. Nadalje, u poglavlju 13 pročitacete da je na osnovu teorije struna nedavno rešena ključna zagonetka o crnim rupama, vezana za Bekenstajn-Hokingovu entropiju, koja se preko dvadeset i pet godina tvrdoglavo opirala razotkrivanju konvencionalnijim metodama. Ovaj uspeh uverio je mnoge da teorija struna utire put ka najdubljem razumevanju kosmosa.

Edvard Viten, jedan od pionira i vodećih stručnjaka teorije struna, sažeto je opisao stanje rečima: „Teorija struna je deo fizike dvadeset prvog veka koja je slučajno iskrsla u dvadesetom veku“. Tu je procenu prvi uobličio slavni italijanski fizičar Danijele Amati.⁵ To bi se, u izvesnom smislu, moglo uporediti sa situacijom kada bi se naši preci s kraja devetnaestog veka našli pred savremenim superračunarom, ne znajući kako se radi na njemu. Kroz inventivne pokušaje i poučne greške, stekli bi predstavu o moći superračunara, ali bilo bi potrebno uložiti odlučan i dugotrajan napor kako bi se razrešila prava misterija. Naslućivanja o moći računara, nalik nagoveštajima razjašnjavajuće moći teorije struna, podstakla bi

izuzetno snažnu motivaciju da se potpuno razotkrije mehanizam rada računara. Slična motivacija danas nagoni generaciju teorijskih fizičara da potpuno i analitički precizno rastumače teoriju struna

Vitenovo zapažanje i stavovi drugih stručnjaka na ovom polju, ukazuju na to da bi mogle proći decenije, ili čak i vekovi, pre nego što sasvim razvijemo i shvatimo teoriju struna. To bi, zaista, moglo biti tačno. Matematika teorije struna toliko je složena da, do danas, niko čak nije utvrdio jednačine te teorije. Fizičarima su poznate samo približne jednačine, a čak i takve, previše su komplikovane, te su samo delimično rešene. Ipak, druga polovina poslednje decenije prošlog veka donela je nadahnjujuće pomake – odgovore na teorijska pitanja (za sada) nezamislive težine. To bi moglo značiti da će se celovito kvantitativno razumevanje teorije struna ukazati mnogo pre nego što se isprva mislilo. Širom sveta, fizičari razvijaju nove moćne tehnike preciznije od brojnih do sada korišćenih aproksimativnih metoda, sa uzbuđenjem sastavljajući različite deliće tajanstvene slagalice teorije struna.

Iznenadjujuće je to što ovakvi pomaci obezbeđuju nove polazne tačke za ponovno tumačenje nekih osnovnih aspekata teorije za koju se već neko vreme zna. Na primer, normalno je da se, posmatrajući sliku 1.1, zapitate: „Zašto strune, a ne maleni frizbiji? Ili mikroskopske grudvice? Ili kombinacija svega toga?“ U poglavlju 12 videćete da najnovija istraživanja pokazuju kako te druge vrste sastojaka *imaju* važnu ulogu u teoriji struna, i otkrivaju da je teorija struna zapravo deo još veličanstvenije sinteze zasad tajanstveno nazvane M-teorija. Najnovija otkrića tema su završnih poglavlja knjige.

Napredak u nauci nije neprekidan proces, već niz zastoja i proboja. Neki periodi obiluju velikim pomacima, drugi su sušni za žedne istraživače. Naučnici obznanjaju rezultate, teorijske i eksperimentalne. Naučna zajednica razmatra rezultate, ponekad ih odbacuje, drugi put ih menja, a povremeno, ti rezultati su inspirativna polazišta za nova i preciznija sagledavanja fizičkog univerzuma. Drugim rečima, nauka napreduje cik-cak putanjom prema – nadamo se – konačnoj istini. Početak te putanje obeležen je najranijim pokušajima čovečanstva da sagleda svemir, a kraj joj ne možemo sagledati. Ne znamo da li je teorija struna slučajna odmo-rišna stanica na tom putu, naglo skretanje ili krajnji cilj. Ali istraživa-nja iz poslednje dve decenije, koja sprovode stotine posvećenih fizičara i

matematičara iz brojnih zemalja, pobuđuju osnovanu nadu da smo na pravom i, moguće, konačnom putu.

To što smo i uz ovako ograničeno razumevanje teorije struna mogli steći jasan, nov uvid u to kako dejstvuje kosmos, svedoči o njenoj raskoši i dalekosežnosti. Središnju nit koju ćemo nadalje slediti čine razvojni procesi koji vode ka revoluciji u našem razumevanju prostora i vremena započetoj sa Ajnštajnovom specijalnom i opštom teorijom relativnosti. Videćemo da tkanje svemira, ako je teorija struna ispravna, ima svojstva koja bi oduzela dah i Ajnštajnu.