

*Brian Greene*  
*Elegantni svemir:*  
*Superstrune, skrivene dimenzije i*  
*potraga za konačnom teorijom*

*Prijevod: Goran Vujasinović*

*Naklada Jesenski i Turk*

*Zagreb, 2012.*

*Prikaz: Lovre Čulina*



# *Elegantni svemir: Superstrune, skrivene dimenzije i potraga za konačnom teorijom*

*Brian Greene*

*Prijevod: Goran Vujasinović*

*Prikaz: Lovre Čulina*

*Prikaz*

Knjiga *Elegantni svemir. Superstrune, skrivene dimenzije i potraga za konačnom teorijom* slavnog američkog teorijskog fizičara Briana Greena izvorno je objavljena 1999. godine. Drugo je izdanje izašlo 2003. godine, a hrvatsko je izdanje njegov prijevod. Djelo je podijeljeno na pet temeljnih cjelina, sadrži ukupno petnaest poglavlja te niz manjih potpoglavlja, a ukupno broji 520 stranica, uključujući glosar znanstvenih pojmova i kazalo. Autor u predgovoru kaže da je motivacija koja leži u pozadini nastanka ove knjige sadržana u želji za pisanjem knjige upućene čitateljima koji ne posjeduju formalno poznavanje fizike i matematike (16). Međutim iako je knjiga pisana britkim stilom uz vještu i domišljatu upotrebu brojnih praktičnih analogija s ciljem ilustracije kompleksnog sadržaja, ona istovremeno traži čitateljev puni angažman i na trenutke pred nas postavlja prave izazove u smislu kognitivnog dohvaćanja složenih ideja. Tematska je okosnica djela teorija struna, no djelo je sadržajno mnogo više, ono je monografija suvremene fizike same. Knjiga čitatelju predstavlja priču o težnji k ostvarenju velikoga sna suvremene fizike, sna o dostizanju “teorije svega” – teorije koja bi u načelu bila kadra opisati sve pojave, a čini se da je upravo teorija superstruna kandidat za to. Knjiga također vrlo strukturirano, jasno i kronološki prikazuje putanju razvoja suvremene fizike, od Newtona do M-teorije. Teorija superstruna golema je tema koja baca široku mrežu problema i perspektiva, ona ujedinjuje zakone velikih dimenzija i one najsitnijih dimenzija, upravo zbog toga ona omogućuje mnoštvo pristupa svojoj problematici, a autor se usredotočuje na utjecaj koji te-

orija superstruna ima na naše razumijevanje prostora i vremena. Svojedobno su teorija relativnosti te kvantna mehanika iz korijena promijenile pravila stvarnosti i naše shvaćanje iste, a danas to čini teorija struna.

U prvoj cjelini, naziva *Na granicama spoznaje*, autor iznosi problem uzajamne nekompatibilnosti dvaju nosivih stupova suvremene fizike, opće relativnosti i kvantne mehanike. Autor također izlistava niz fizičkih zanimljivosti, od svojstava kretanja svjetlosti preko gravitacije pa do ponašanja čestica na subatomskej razini. Isto su tako predstavljene neke temeljne fizikalne veličine i pojmovi nužni za razumijevanje daljnjeg sadržaja. Tako autor navodi da protoni nisu fundamentalni, već su sastavljeni od kvarkova te izlistava čitav niz čestica kao što su *neutrino*, *muon*, *muon neutrino*, *tau neutrino* itd., čija svojstva opisuje te ih smješta u njima odgovarajuće porodice. Sve od navedenih čestica imaju pripadajuće antičestice. Danas je obitelj materije podijeljena na tri skupine te sva materija za koju znamo spada u jednu od tri porodice uz njihove antičestične dvojnike. Fundamentalne su sile jaka sila, slaba sila, elektromagnetska sila i gravitacija. Te četiri temeljne sile posredovane su česticama gluonima, slabim baždarnim bozonima, fotonima te gravitonima. Teorija struna nalaže da kvarkovi nisu jednodimenzionalne točkaste čestice, već sadrže nît vibrirajuće energije, što pokušava razriješiti neslaganje između opće relativnosti i kvantne mehanike. Različiti rezonacijski vibracijski obrasci (modeli) zaslužni su za različite oblike koje materija zauzima u smislu mase i naboja sile (primjerice električni naboj). Dakle teorija struna prikazuje najmanje čestice u svemiru kao sîćušne niti energije, tj. strune. Te su strune stotinu milijardi milijardi (kvintilijun) puta manje od jedne atomske jezgre. Teorija struna predlaže se kao najvjerojatniji kandidat za preuzimanje titule „teorije svega“, ona ima potencijala za ujedinjenje gravitacije s elektromagnetskom, slabom i jakom silom. Međutim iako je Greene jedan od vodećih svjetskih stručnjaka u području teorije struna te jedan od njenih najpoznatijih proponenata, on ipak termin „teorija svega“ u kontekstu teorije struna koristi s oprezom. Još je Albert Einstein snivao o ujedinjenoj teoriji fizike koja bi bila kadra opisati prirodne sile jedinstvenim, sveobuhvatnim i koherentnim okvirom te je posljednjih trideset godina svog života posvetio razvoju tzv. teorije ujedinjenog polja. Međutim Einstein nije ostvario svoj san. Bez obzira na to Einsteinov je san o ujedinjenju postao svetim gralom suvremene

fizike. Ostvarenje tog sna moglo bi se kriti u teoriji struna. Brian Greene citira jednog od pionira teorije struna, Edwarda Wittena, i navodi da je “teorija struna dio fizike dvadeset prvog stoljeća koji je nekim slučajem dospio u dvadeseto stoljeće” (42). Strune su presićušne da bismo ih mogli locirati dostupnim znanstvenim alatima (riječ je o Planckovoj duljini koja iznosi  $10^{-33}$  cm), stoga teorija struna još nije predvidljiva niti ju je trenutno moguće testirati, te fizičari moraju raditi s aproksimacijama jednadžbi. Bez obzira na to ona obećava iznimno mnogo.

Druga cjelina, *Dilema o prostoru, vremenu i kvantima*, sadrži četiri poglavlja. Ovdje autor iznosi pregled osnovnih pravila dvaju suprotstavljenih teorija, Einsteinove specijalne i opće relativnosti i kvantne mehanike. Einstein je smatrao da materija uvija i zakrivljuje prostorvrijeme (pojam koji uvodi Einstein, a podrazumijeva tri dimenzije prostora i jednu dimenziju vremena; prostorvrijeme je četverodimenzionalno), dakle i prostor i vrijeme zakrivljeni su, a upravo je gravitacija ta zakrivljenost. Zakrivljenost se prenosi gravitacijskim valovima koji se kreću brzinom svjetlosti. Autor navodi da su izračuni opće relativnosti prilično precizni, no oni se ne mogu nositi sa zgusnutim stanjem koje je prethodilo Velikom prasku te su nekompatibilni s kvantnom mehanikom. Nadalje autor opisuje temeljne pojmove i fenomene kvantne mehanike pa se tako bavi problemom spektra zračenja crnog tijela, Youngovim eksperimentom s dvostrukim prorezom, dualnom prirodom materije (koju predlaže Louis de Broglie 1923.), Schrödingerovom valnom jednadžbom, Heisenbergovim načelom neodređenosti koje predviđa nemogućnost istovremenog znanja i točne lokacije i točne brzine čestice u bilo kojem danom vremenu, itd. Greene prolazi preko četiri fundamentalne sile i opisuje kompleksnost inkorporacije gravitacije u ostale tri. U posljednjem poglavlju ovog dijela autor naglašava nužnost iznalaženja nove teorije koja preispituje i opću teoriju relativnosti i kvantnu mehaniku. Pri ekstremnim uvjetima velikih masa ili iznimno malih veličina gubi se uspjeh opće relativnosti i dolazi do besmislenih predviđanja, kao u trenutku Velikog praska ili u središtima crnih rupa. U takvim nam je situacijama potrebna kvantno-mehanička verzija opće relativnosti. Greene se ovdje bavi ograničenjima standardnog modela (skupom vrlo uspješnih teorija kao što su kvantna elektrodinamika, kvantna kromodinamika, velika ujedinjena teorija itd.) te iznosi problem simetrije u fizici (svojstva fizikalnog sustava koje se

Prikaz

ne mijenja kad se sustav na neki način promijeni) i problem kvantnih fluktuacija (turbulentnih ponašanja sustava na mikroskopskoj razini, zbog načela neodređenosti). Opća relativnost nalaže ravnu (glatku) površinu prostora, međutim zbog kvantnih fluktuacija kvantna mehanika predviđa da prazan prostor mora imati valovito gravitacijsko polje, što postaje sve vidljivije smanjivanjem reda veličina. Na najsitnijim razinama, tj. ultramikroskopskim razmjerima, postoji nasilno uvijanje i mrežkanje tkiva prostorvremena, tzv. kvantna pjena. Prema tome na vrlo malim veličinama ravna prostorna geometrija potrebna za opću relativnost biva uništenom. Kvantna ili prostornovremenska pjena bitan je razlog neuskладivosti opće teorije relativnosti i kvantne mehanike prije pojave teorije struna. Tkivo prostora ne čini se ravnim jedino na ultramikroskopskoj razini, što podrazumijeva duljine kraće od Planckove. Autor, kao i mnogi drugi fizičari, jednostavno ne može prihvatiti da je svemir u svojoj biti podijeljen na dva kontradiktorna teorijska okvira, a razrješenje tog problema vidi u teoriji superstruna, teoriji struna koja uključuje supersimetriju.

*Kozmička simfonija* naziv je treće cjeline knjige u kojoj Greene podrobno opisuje funkcioniranje teorije superstruna, koristeći pritom mnoštvo glazbenih metafora. Autor također iznosi prikaz prve inkarnacije teorije struna sedamdesetih godina prošloga stoljeća, kada se ona nazivala bozonskom teorijom struna, a započela je još s Venezianom 1968. godine. Također objašnjava i prve revizije koje je teorija prošla tijekom prve revolucije superstruna, između 1984. i 1986. godine, kada su brojni sadržaji standardnog modela izbili jednostavno i prirodno iz strukture teorije struna, a navodi i značajnost druge revolucije teorije superstruna predvođene Edwardom Wittenom 1995. godine. Strune su možda fundamentalne, a možda su sastavljene od još manjih jedinica, autor ipak uzima prvu mogućnost kao vjerojatniju, barem sa svrhom lakše ilustracije problema. U teoriji struna svojstva se elementarnih čestica, poput mase i naboja sila, javljaju kao rezonancije, tj. određeni vibracijski obrasci. Svaka se elementarna čestica sastoji od jedne strune (sve su strune fundamentalno identične) koja ima karakterističnu rezonantnu vibraciju, autor to ilustrira primjerom iste strune nekog instrumenta koja pri različitim vibracijama svira različite note. Teorija struna predviđa točna svojstva gravitacije, a gravitacija je intrinzična sastavnica teorije struna. Autor također opisuje kako je supersimetrija, koncept koji predviđa pos-

tojanje superpartnera koji korespondiraju sa svim poznatim česticama, a definira se kao načelo simetrije koje povezuje svojstva čestica s cjelobrojnom količinom spina (bozoni) sa svojstvima onih čiji se spin izražava polovicom (neparnog) broja (fermioni) (511), preobrazila teoriju struna u teoriju superstruna. Pokrivši osnove, Greene nastavlja s jednom od najčudnijih tvrdnji teorije struna, teorijom koja kaže da svemir sadrži mnogo više dimenzija nego što ih možemo opaziti. U svojem sadašnjem obliku teorija superstruna postulira postojanje jedanaest dimenzija, deset dimenzija prostora i jedne dimenzije vremena (prethodno je postulirala devet dimenzija prostora i jednu vremena). Te dimenzije viška vjerojatno zauzimaju oblik šesterodimenzionalnih geometrijskih oblika zvanih Calabi-Yauov prostor ili oblik. Greene zaključuje ovu cjelinu analizirajući središnju poteškoću teorije struna – manjak eksperimentalnih dokaza, jer trenutno jednostavno nije moguće vršiti eksperimente na razini Planckove duljine (ili duljinama manjim od Planckove).

Prikaz

Četvrta cjelina, naziva *Teorija struna i tkivo prostorvremena*, pred čitatelja stavlja sadržajno najzahtjevniji dio djela. Autor cjelinu započinje pregledom kvantne geometrije i nove vrste matematike koja se mora pojaviti da bi objasnila svemir na ultramikroskopskoj razini. Kvantna geometrija matematička je osnovica teorije struna. Greene također raspravlja o ključnom svojstvu struna u čijem je otkriću i sam sudjelovao – zrcalnoj simetriji. Nije izostavljen ni osvrt na koncept crvotočine (most ili tunel koji omogućuje prečac od jednog dijela svemira do drugog) te se postavlja pitanje mogućnosti kidanja i cijepanja prostora. Protivno onome u što su fizičari donedavno vjerovali, tkivo prostora može se kidati i cijepati bez katastrofalnih posljedica. Autor također pokriva temu druge revolucije superstruna koja je započela 1995. godine. Prije druge revolucije superstruna smatralo se da je pet teorija struna (teorija struna tip I, teorija struna tip IIA, teorija struna tip IIB, heterotička-o teorija struna i heterotička-E teorija struna) potpuno odvojeno, međutim kroz nova istraživanja svih se pet teorija vidi kao jedan sveobuhvatan okvir u koji kasnije ulazi čak i šesta teorija (11-D supergravitacija), taj sveobuhvatni okvir nazvan je M-teorijom. Kroz M-teoriju naizgled nepovezane niti utkane su u istu tapiseriju. Dva su temeljna svojstva M-teorije: (1) M-teorija ima 11 dimenzija (deset prostornih i jednu vremensku); (2) ona sadrži titrajuće strune (jednobrahe), ali i druge objekte, kao što su titrajuće dvodimenzionalne membrane, zatitrane trodimenzionalne kapljice (tro-

brane) i obilje drugih, čak još kompleksnijih objekata.  $M$ -teorija jedna je od najradikalnijih i najnepotpunije shvaćenih teorija ikada razvijenih. Ona predlaže ujedinjenje gravitacije s ostalim trima, negravitacijskim silama. Greene također adresira problem crnih rupa, pri čemu vrši pregled rada velikih imena poput Hawkinga i Penrosea. Crne rupe slične su elementarnim česticama jer nemaju unutarnju strukturu koju je moguće utvrditi, može ih se potpuno karakterizirati preko njihove mase, naboja sile i spina kutnog momenta. Autor iznosi da teorija struna predviđa da crne rupe mogu proći kroz prijelaz u elementarnu česticu bez mase – foton – putem fazne tranzicije. Autor također razrađuje pitanje entropije u slučaju konzumacije materije od strane crne rupe, te problem gubitka informacije. Greene završava cjelinu raspravljajući o kozmološkim implikacijama teorije struna /  $M$ -teorije pri čemu navodi brojne prednosti teorije struna u nastojanjima za iznalaženjem odgovora na složena pitanja kozmologije. Tako primjerice navodi da se standardna čestična fizika ne može nositi s izračunima koji se tiču vremena prije Planckova, dok teorija struna može. Prikazan je i problem očigledne homogenosti mikrovalnoga kozmičkog pozadinskog zračenja. Autor zadire i u pitanja vezana uz scenarije prije Velikog praska te je očito da se priklanja inflacijskoj kozmologiji, tu je obrađena i tema multiverzuma te mnoge druge teme suvremene kozmologije poput antropičkog načela. Greene ovu cjelinu zaključuje izjavom da će kozmološke implikacije teorije struna /  $M$ -teorije biti glavno područje istraživanja u dvadeset prvom stoljeću.

U posljednjoj cjelini knjige, *Ujedinjenje u dvadeset prvom stoljeću*, autor upućuje pogled prema budućnosti teorije struna i raspravlja o pet temeljnih pitanja s kojima će se teoretičari struna suočavati u daljnjoj potrazi za konačnom teorijom. Koje je glavno načelo u osnovi teorije struna, prvo je pitanje. Ono pita je li i sama teorija struna neizbježna posljedica nekog šireg načela. Drugo pitanje bavi se problemom prostora i vremena, odnosno njihova određenja, te se autor pita postoji li nešto fundamentalnije od prostora i vremena, možda nulte brane? Treće pitanje usmjerava pažnju prema mogućnosti da teorija struna reformulira kvantnu mehaniku te se pita kolike su vjerojatnosti za takav scenarij. Četvrto pitanje pita može li se teorija struna provjeriti eksperimentalno, dok peto pitanje ispituje mogućnost postojanja granica objašnjavanja iznad kojih ne možemo ići, u tom kontekstu autor prikladno citira Einsteina: “Ono neshvatljivo u vezi sa svemirom jest to što je shvatljivo.” (494)



*Elegantni svemir* nije samo djelo o teoriji struna i suvremenoj fizici, ono je djelo o izazovima i trijumfima suvremenog istraživanja najdubljih zakona prirode. Zanimljivo je da autor u predgovoru iz 2003. godine govori da ništa u tekstu nije zastarjelo niti je postalo nevažno i da bi u ponovnom pisanju samo ponegdje promijenio naglasak (12). Iako je u određenim područjima teorije struna postignut značajan napredak, negativna strana toga što ovom djelu nije potrebna revizija sadržana je u tome što mnoge prepreke opisane u tekstu još uvijek nisu savladane. Bez obzira na to ovo je djelo značajno u vrlo širem smislu riječi, ono rezonira s dijelom ljudskog karaktera koji je inherentan svakom ljudskom biću, a to je znatiželja i nagon postavljanja nama svojstvenih temeljnih pitanja. Djelo nadilazi skromnu namjenu autora i postavlja se izrazito vrijednim jer predstavlja jednu od stepenica u integriranju otkrića fizike (znanosti) u naš kolektivni svjetonazor.

*Prikaz*