

Beskrajni dvojnici

Višeslojni multiverzum

Ako biste se zaputili u kosmos, putujući sve dalje i dalje, da li biste otkrili da se širi u beskraj ili da se naglo završava? Ili biste se, možda, vratili tamo odakle ste pošli, kao ser Fransis Drejk kada je oplovio Zemlju? Obe mogućnosti – kosmos koji se prostire u beskonačnost i kosmos koji je ogroman ali konačan – kompatibilne su sa svim posmatranjima, a vodeći naučnici su ih temeljno proučavali tokom nekoliko poslednjih decenija. Ali, i pored sveg tog detaljnog proučavanja, ako je kosmos beskrajan sledi neverovatan zaključak koji je privukao relativno malo pažnje.

U dalekim prostranstvima beskonačnog kosmosa postoji galaksija koja izgleda kao Mlečni put, sa solarnim sistemom koji je pljunuta kopija našeg, u kojem postoji Zemljina dvojnica, na kojoj se nalazi kuća koja se uopšte ne razlikuje od vaše a koju naseljava neko ko izgleda kao i vi i upravo sada čita istu ovu knjigu zamišljajući vas u dalekoj galaksiji kako upravo dovršavate ovu rečenicu. I ne postoji samo jedna takva kopija. U kosmosu bez kraja postoji ih beskonačno mnogo. U nekima vaš dvojnici čita ovu rečenicu, zajedno s vama. U drugima je preskočio nekoliko stranica, ili je ogladneo pa je ostavio knjigu. U trećim on ima ponešto negativnu reputaciju i ne biste ga hteli sresti u mračnom prolazu.

Nećete ga ni sresti. Te kopije naseljavale bi prostore toliko udaljene da svetlost koja putuje od trenutka Velikog praska ne bi imala dovoljno vremena da pređe rastojanje koje vas razdvaja. Ali čak i bez sposobnosti da posmatramo nešto na tim udaljenostima videćemo da je kosmos, prema

osnovnim fizičkim načelima i ako je beskonačno velik, dom za beskonačno mnogo paralelnih svetova, od kojih su neki identični našem, drugi različiti od njega, a većina uopšte nema nikakve sličnosti s njim.

Na putu do tih paralelnih svetova najpre moramo da razvijemo osnovnu teorijsku postavku kosmologije – nauke o poreklu i evoluciji kosmosa kao celine.

Bacimo se na posao.

Otac Velikog praska

„Matematika vam je tačna, ali vam je fizika očajna.“ Solvejeva konferencija fizičara 1927. godine bila je u punom jeku, a ovako je Ajnštajn odgovorio kada mu je Belgijanac Žorž Lemetr saopštio da jednačine opšte teorije relativnosti, koje je slavni naučnik objavio više od jedne decenije ranije, imaju za nužnu posledicu dramatične promene u priči o postanku. Prema Lemetrovim proračunima, kosmos je počeo kao mala tačka zaprepašćujuće gustine, „primordijalni atom“, kako ju je nazivao, koja se širila tokom dugo vremena da bi postala vidljivi kosmos.

Lemetr beše neobična ličnost među dvadesetak poznatih fizičara, pored Ajnštajna, koji su se okupili u hotelu Metropol u Briselu kako bi nedelju dana intenzivno raspravljali o kvantnoj teoriji. Do 1923. godine završio je doktorsku disertaciju, a uz to i studije u Sen-Rombou i zaredio se kao jezuitski sveštenik. Tokom pauze na konferenciji Lemetr je, u odori i sa sveštenečkim okovratnikom, prišao čoveku čije su jednačine, verovao je, temelj nove naučne teorije o nastanku kosmosa. Ajnštajn je znao za Lemetrovu teoriju jer je nekoliko meseci pre toga pročitao njegov rad o toj temi i nije našao nikakav problem u načinu na koji je upotrebio jednačine opšte teorije relativnosti. Zapravo, nije to bio prvi put da je neko Ajnštajnu pokazao takve rezultate. Ruski matematičar i meteorolog Aleksandar Fridman je 1921. godine došao do niza rešenja Ajnštajnovih jednačina po kojima se prostor rasteže izazivajući širenje kosmosa. Ajnštajn je odbacio ta rešenja i isprva je smatrao da su Fridmanovi proračuni pogrešni. Ajnštajn nije bio u pravu i kasnije je povukao svoju tvrdnju. Ali, odbio je da bude pion u rukama matematičara. Odbacivao je jednačine držeći se svoje intuicije o tome kakav bi kosmos *trebalo* da bude, uz duboko uverenje da je kosmos večan i u svojoj sveukupnosti fiksna i nepromenljiva. Kosmos se, prekorio je Lemetra, ne širi niti se ikada širio.

Šest godina docnije, u sali za predavanje opservatorijuma Maunt Vilson u Kaliforniji, Ajnštajn je s velikom pažnjom slušao kako Lemetr izlaže detaljniju verziju svoje teorije da je kosmos počeo u primordijalnom bljesku i da su galaksije žeravica što pluta u prostoru koji se širi. Posle predavanja Ajnštajn je ustao i Lemetrovu teoriju proglasio „najlepšim i najadekvatnijim objašnjenjem nastanka koje sam ikada čuo“.¹ Najpoznatiji svetski fizičar bio je prisiljen da promeni mišljenje o jednoj od najvećih zagonetki sveta. Iako za Lemetra šira javnost uglavnom nije znala, on će među naučnicima postati poznat kao otac teorije Velikog praska.

Opšta teorija relativnosti

U svojim kosmološkim teorijama Fridman i Lemetr oslanjali su se na rukopis koji je Ajnštajn poslao nemačkom časopisu *Annalen der Physik* 25. novembra 1915. godine. Taj rad bio je kruna gotovo desetogodišnje matematičke odiseje, a rezultat koji je predstavio – opšta teorija relativnosti – pokazao se kao najpotpunije i najdalekosežnije Ajnštajnovu naučno dostignuće. Opštom teorijom relativnosti Ajnštajn je uveo elegantan geometrijski jezik kojim je temeljno rekonstruisano razumevanje gravitacije. Ako već imate solidno predznanje o osnovama te teorije i njenim implikacijama na kosmologiju, slobodno možete da preskočite sledeća tri odeljka. Ukoliko ipak želite kratak podsetnik o najvažnijim delovima, čitajte dalje.

Ajnštajn je započeo rad na opštoj teoriji relativnosti oko 1907. godine, u vreme kada je većina naučnika smatrala da je gravitacija odavno objašnjena u radovima Isaka Njutna. Kao što učenici u srednjim školama širom sveta uče, Njutn je krajem 17. veka predstavio takozvani univerzalni zakon gravitacije, koji je pružio prvi matematički opis najpoznatije sile prirode. Njegovi zakoni su toliko dobri da ih inženjeri pri NASA i dan danas koriste za izračunavanje putanje svemirskih letelica a astronomi za predviđanje kretanja kometa, zvezda, čak i celih galaksija.²

Upravo zbog tako očite efikasnosti Njutnove teorije još je upečatljivije Ajnštajnovu otkriće s početka 20. veka. Ajnštajn je, naime, otkrio da je Njutnov zakon gravitacije u suštini pogrešan. To se jasno pokazalo u jednom naizgled jednostavnom zdravorazumskom pitanju: kako, pitao se Ajnštajn, gravitacija funkcioniše? Kako, na primer, Sunce uspeva da preko 150 miliona kilometara gotovo praznog prostora deluje na kretanje Zemlje?

Nema konopca koji ih povezuje, nema ni lanca koji bi zatezao Zemlju dok se kreće. Pa kako, onda, gravitacija ostvaruje svoj uticaj?

U svom delu *Principia*, objavljenom 1687. godine, Njutn je uvideo koliko je to pitanje važno ali i priznao da je njegov zakon neugodno tih u vezi s odgovorom. Njutn je bio siguran da mora postojati nešto što prenosi gravitaciju od jednog mesta do drugog, ali nije bio kadar da prepozna šta bi to moglo biti. U svom delu Njutn je to pitanje provokativno prepustio „čitaocima na razmatranje“, a više od dvesta godina oni koji su ga čitali samo su prelazili preko toga. Ajnštajn to nije mogao.

Više od pet godina Ajnštajn je bio obuzet pronalaženjem mehanizma na koji se gravitacija oslanjala. Godine 1915. ponudio je odgovor. Iako se Ajnštajnov predlog zasnivao na sofisticiranoj matematici i zahtevao konceptualne prodore neviđene u istoriji fizike, odlikovala ga je ista svedenost kao i pitanje na koje je pokušavao da odgovori. Kakvim procesom gravitacija ostvaruje svoj uticaj preko praznog prostora? Praznina praznog prostora kao da je sve ostavila praznih ruku. Ali, u praznom prostoru zapravo nečega ima: ima *prostora*. To je navelo Ajnštajna da predloži kako je možda sam prostor medij preko kojeg gravitacija deluje.

Evo o čemu se radi. Zamislite kliker kako se kotrlja preko velikog metalnog stola. Pošto je površina stola ravna, kliker se kotrlja po pravoj liniji. Ali, kada bi vatra zahvatila površinu stola koja bi se usled toga iskrivila i podigla, kliker bi pratio drugačiju putanju jer bi ga tako vodila iskrivljena i deformisana površina stola. Ajnštajn je tvrdio da se ista ideja može primeniti i na tkanje prostora. Potpuno prazan prostor je kao ravna površina stola i omogućava predmetima da se kotrljaju po pravim linijama a da ih ništa ne ometa. Ali, prisustvo masivnih tela utiče na oblik prostora, slično toploti koja deluje na oblik površine stola. Sunce, na primer, stvara udubljenje u svojoj blizini, slično promeni na površini stola na kojoj nastane ispupčenje zbog vrućine. I upravo kao što iskrivljena površina stola prisiljava kliker da se kotrlja po zakrivljenoj putanji, tako i zakrivljeni prostor u blizini Sunca prisiljava Zemlju i ostale planete da se kreću po orbitama.

U ovom kratkom opisu samo ovlaš su dotaknuti pojedini bitni detalji. Ne zakrivljuje se samo prostor nego i vreme (to nazivamo zakrivljenost prostorvremena). Sama Zemljina gravitacija olakšava delovanje stola tako što zadržava kliker na površini (Ajnštajn je tvrdio kako naborima u prostoru nisu potrebni posrednici jer oni *jesu* gravitacija). Prostor je trodimenzionalan i kada se izobličiti čini to oko celog objekta, a ne samo „ispod“

njega, kako bi se zaključilo iz primera s površinom stola. Bez obzira na to, slika zakrivljene površine stola dobro ilustruje suštinu Ajnštajnovog predloga. Pre Ajnštajna na gravitaciju se gledalo kao na tajanstvenu silu kojom je jedno telo nekako kroz prostor delovalo na drugo. Posle Ajnštajnovog otkrića gravitacija je prepoznata kao deformacija okruženja koju je izazvao jedan objekat i koja deluje na kretanje drugih objekata. Prema tim idejama, upravo u ovom trenutku vi ste prikovani za pod zato što vaše telo pokušava da sklizne niz uvlaku u prostoru (zapravo, prostorvremenu) koja je nastala delovanjem Zemlje.*

Ajnštajn je proveo godine razvijajući tu zamisao u strog matematički okvir, a tako nastale *Ajnštajnovе jednačine polja*, srž njegove teorije relativnosti, precizno nam govore koliko će se prostor i vreme zakriviti kao posledica prisutnosti zadane količine materije (preciznije, materije i energije – prema Ajnštajnovoj jednačini $E = mc^2$, u kojoj je E energija a m masa, te dve veličine su međusobno zamenljive).³ S jednakom preciznošću teorija zatim pokazuje kako će ta zakrivljenost prostorvremena delovati na kretanje svega drugog – zvezde, planete, komete, same svetlosti – što se u njemu pomera. To fizičarima omogućava da izrade detaljna predviđanja kretanja u kosmosu.

Dokazi u prilog opštoj teoriji relativnosti brzo su počeli da pristižu. Astronomima je već dugo bilo poznato da Merkurovo kretanje u orbiti oko Sunca pomalo odstupa od onoga što predviđa Njutnova matematika. Ajnštajn je 1915. godine ponovo izračunao Merkurovu putanju koristeći svoje nove jednačine i mogao je da objasni to odstupanje. Za Ajnštajna je to otkriće bilo toliko uzbudljivo da mu je, kako je kasnije ispričao kolegi Adrianu Fokeru, srce tuklo još satima nakon toga. Zatim su 1919. godine astronomska posmatranja, koja je izveo Artur Edington, pokazala da se svetlost udaljenih zvezda koja prolazi pored Sunca kreće po zakrivljenoj putanji,

* Lakše je zamisliti zakrivljeni prostor nego zakrivljeno vreme pa se zbog toga brojni prikazi ajnštajnovske gravitacije usredsređuju upravo na to prvo. Međutim, za gravitaciju koju generišu uobičajeni objekti kao što su Sunce i Zemlja, zakrivljenost vremena, a ne prostora, ispoljava dominantan efekat. Ilustracije radi, zamislite dva časovnika. Jedan je na tlu a drugi na vrhu Empajer Stejt Bilinga. Pošto je časovnik na tlu bliži središtu Zemlje, on oseća nešto jaču gravitaciju nego časovnik visoko iznad Menhetna. Opšta teorija relativnosti pokazuje da se zbog te činjenice brzine kojima vreme protiče na svakom časovniku neznatno razlikuju. Časovnik na tlu otkucavaće nešto sporije (miliarditi deo sekunde na godinu) u odnosu na časovnik na vrhu zgrade. Takvo nepodudaranje vremena primer je onoga na šta mislimo kada govorimo o zakrivljenosti vremena. Prema opštoj teoriji relativnosti objekti se kreću ka regionima u kojima vreme teče sporije; u neku ruku, svi objekti teže da stare što sporije. Iz ajnštajnovske perspektive, to je razlog zbog kojeg objekti padaju kada ih pustite.

baš onakvoj kakvu predviđa opšta teorija relativnosti.⁴ Uz tu potvrdu – i naslov u listu *New York Times*, SVETLOST NA NEBU JE ISKRIVLJENA, NAUČNICI MANJE ILI VIŠE IZNENAĐENI – Ajnštajn je stekao međunarodnu reputaciju novog naučnog genija, i po tome nasledio Isaka Njutna.

Ali, najimpresivnije potvrde opšte teorije relativnosti tek će uslediti. Tokom sedamdesetih godina eksperimenti s vodoničnim maserskim satovima (maseri su slični laserima ali deluju u mikrotalasnom području) potvrdili su predviđanje opšte teorije relativnosti da Zemlja u svojoj blizini zakrivljuje prostorvreme za jedan petnaest hiljaditi deo. Svemirska letelica Kasini-Hajgens je 2003. godine upotrebljena za detaljno proučavanje putanja radio-talasa koji su prošli blizu Sunca. Prikupljeni podaci potvrdili su sliku zakrivljenog prostorvremena kakvu predviđa opšta teorija relativnosti do na oko jedan pedeset hiljaditi deo. A danas, prikladno za teoriju koja je istinski sazrela, mnogi od nas hodaju s teorijom relativnosti na dlanu. Globalni sistem pozicioniranja koji često koristite na smartfonu komunicira sa satelitima čiji interni mehanizmi za merenje vremena uredno uzimaju u obzir zakrivljenost prostorvremena koju doživljavaju u orbiti oko Zemlje. Kada to ne bi radili, očitavanja položaja koja generišu vrlo brzo bi postala pogrešna. Ono što je 1916. godine bio skup apstraktnih matematičkih jednačina koje je Ajnštajn ponudio kao novi opis prostora, vremena i gravitacije, sada se rutinski koristi u uređajima koje nosimo u džepu.

Kosmos i čajnik

Ajnštajn je udahnuo život u prostorvreme. Osporio je hiljade godina intuicije, stečene iz svakodnevnog iskustva, koja je prostor i vreme tretirala kao nepromenljivu pozornicu. Ko bi ikada zamislio da prostorvreme može da se migolji i savija, igrajući ulogu nevidljivog glavnog koreografa kretanja u kosmosu? To je taj revolucionarni ples koji je Ajnštajn predvideo, a posmatranja potvrdila. Pa ipak, po kratkom postupku, Ajnštajn je posrnuo pod teretom vrlo starih, ali neosnovanih predrasuda.

Godinu dana nakon što je objavio opštu teoriju relativnosti, Ajnštajn ju je primenio na najveću od svih razmera – na čitav kosmos. Možda mislite da je ovo pozamašan posao, ali lepota teorijske fizike leži u pojednostavljanju izuzetno složenog kako bi se očuvale osnovne fizičke karakteristike a da pritom teorijska analiza bude pristupačna. Tu je bitno umeće da

se zna šta se može zanemariti. Kroz takozvani *kosmološki princip* Ajnštajn je definisao pojednostavljeni okvir koji je postao osnova umeća i nauke teorijske kosmologije.

U skladu s kosmološkim principom kosmos, ako se posmatra u najvećim razmerama, izgledaće jednoličan. Uzmite za primer čaj koji pijete za doručak. U mikroskopskim razmerama vrlo je nehomogen. Malo molekula H_2O , malo praznog prostora, tu i tamo pokoji molekul polifenola i tanina, još praznog prostora i tako dalje. Ali u makroskopskim razmerama, koje su dostupne ljudskom oku, čaj je ravnomerno smeđ. Ajnštajn je verovao da je kosmos sličan čaju. Varijacije koje zapažamo – Zemlja, pa malo praznog prostora, pa Mesec, pa još praznog prostora, zatim Venera, Merkur, prazan prostor, i na kraju Sunce – samo su nehomogenosti na manjim nivoima. Smatrao je da u kosmološkim razmerama te varijacije možemo da zanemarimo jer će, kao i čaj, u proseku dati nešto jednolično.

U Ajnštajnovu vreme dokazi u prilog kosmološkom principu bili su u najmanju ruku tanki (čak još nije bio gotov ni teorijski okvir za postojanje drugih galaksija). Ali Ajnštajna je vodio jak osećaj da nijedno mesto u kosmosu nije posebno. Osećao je da je, u proseku, svaki deo kosmosa ravnopravan sa svima ostalima pa prema tome ima u osnovi identične ukupne fizičke atribute. U godinama koje su usledile astronomska posmatranja pružila su solidnu podršku kosmološkom principu ali samo ako se kosmos posmatra u razmerama od najmanje sto miliona svetlosnih godina (što je otprilike hiljadu prečnika Mlečnog puta). Ako uzmete kutiju čije su stranice dugačke po sto miliona svetlosnih godina i stavite je *ovde*, a zatim drugu istu takvu stavite *tamo* (recimo milijardu svetlosnih godina *odavde*) i merite prosečne vrednosti svojstava – prosečan broj galaksija, prosečnu količinu materije, prosečnu temperaturu i tako dalje – zaključili biste da ih je teško razlikovati. Ukratko, ako ste videli jedan komad kosmosa od sto miliona svetlosnih godina, videli ste ih sve.

Ispostavilo se da je takva jednoličnost vrlo važna za primenu jedinačina opšte teorije relativnosti prilikom proučavanja kosmosa kao celine. Da biste videli zašto, zamislite prekrasnu jednoličnu plažu i zatim zamislite da sam tražio od vas da opišete njena svojstva na malim razmerama, tj. svojstva svih pojedinačnih zrna peska. Zapanjili biste se jer je to prevelik posao. Ali, ako bih tražio da opišete samo ukupne karakteristike plaže (kao što su prosečna težina jednog kubnog metra peska, prosečna refleksivnost jednog kvadratnog metra površine plaže i tako dalje), posao postaje izvodljiv. A izvodljiv je baš zbog te jednoličnosti plaže. Izmerili

biste prosečnu težinu peska, reflektivnost i temperaturu i to bi bilo sve. Ista merenja na nekom drugom delu plaže dala bi u suštini isti rezultat. Isto je i s jednoličnim kosmosom. Bilo bi neizvodljivo opisati svaku planetu, zvezdu i galaksiju. Ali, opisivanje prosečnih svojstava jednoličnog kosmosa neuporedivo je jednostavnije – a s pojavom opšte teorije relativnosti i moguće.

Evo kako to ide. Ukupan sadržaj ogromne količine prostora može se opisati količinom „stvari“ koje sadrži. Preciznije rečeno, gustinom materije ili, još preciznije, gustinom materije i energije u prostoru. Jednačine opšte teorije relativnosti opisuju kako se ta gustina menjala kroz vreme. Ali, bez pozivanja na kosmološki princip te jednačine je beznačajno teško analizirati. Deset ih je, i pošto su sve u vrlo složenoj međuzavisnosti one formiraju čvrst matematički Gordijev čvor. Na sreću, Ajnštajn je utvrdio da se matematika, kada se jednačine primene na uniformni kosmos, pojednostavljuje. Deset jednačina bivaju redundantne i svode se na jednu. Kosmološki princip preseca Gordijev čvor tako što smanjuje složenost matematike u proučavanju rasprostranjenosti materije i energije u kosmosu na jednu jednačinu (možete je videti u beleškama).⁵

Nažalost, kada je Ajnštajn proučavao tu jednačinu naišao je na nešto neočekivano i, iz njegove perspektive, neprijatno. Prema prevladajućem naučnom i filozofskom stajalištu ne samo da je kosmos na najvećim razmerama uniforman, nego je to stanje nepromenljivo. Kao što se usled brzog kretanja molekula u čaju u proseku dobija tečnost nepromenljivog izgleda, kretanjem u kosmosu, recimo kretanjem planeta oko Sunca ili kretanjem Sunca oko središta galaksije, u proseku se dobija kosmos koji se ne menja. Ajnštajn je prihvatao takvo viđenje kosmosa ali je, na svoje iznenađenje, otkrio da je ono u suprotnosti s opštom teorijom relativnosti. Matematika je pokazivala da gustina materije i energije *ne može* da bude konstantna u vremenu. Gustina može da raste ili da opada, ali nikako ne može da bude konstantna.

Iako je matematička analiza u temeljima ovog zaključka napredna, fizika je jednostavna. Zamislite put bejzbolske loptice koja se vinula ks ogradi terena nakon što je izbačena iz baze. Lopta na početku juri u visinu, zatim usporava, doseže najvišu tačku putanje i onda počinje da pada. Ona ne lebdi lagano kao leteći balon jer gravitacija, koja je privlačna sila, deluje u jednom smeru i privlači loptu prema površini zemlje. Za statičnu situaciju, kao što je ravnoteža u igri natezanja konopca, potrebne su sile jednakog intenziteta ali suprotnog smera koje se poništavaju. U slučaju balona,

silu usmerenu nagore, nasuprot gravitaciji, daje pritisak vazduha (pošto je napunjen helijumom, koji je lakši). Kada je lopta u vazduhu, na nju ne deluje sila koja bi se suprotstavljala gravitaciji (otpor vazduha deluje na loptu dok se kreće, ali u statičnoj situaciji nema nikakvu ulogu) i zbog toga lopta ne može da ostane na fiksnoj visini.

Ajnštajn je zaključio da je kosmos sličniji loptici za bejzbol nego letećem balonu. Pošto nema sile koja bi delovala ka spolja i suprotstavljala se privlačnom delovanju gravitacije, opšta teorija relativnosti pokazuje da kosmos ne može biti statičan. Tkanje prostora se širi ili skuplja i nikako ne može ostati nepromenljivo. Zapremina prostora čije su stranice danas po sto miliona svetlosnih godina, sutra više neće imati stranice iste dužine. One će biti duže, a gustina materije u njima će se smanjiti (svaka stranica biće raširenija u većoj zapremini) ili će biti manja, a gustina materije će se povećati (materija će biti zbijenija u manjoj zapremini).⁶

Ajnštajn je ustuknuo. Prema matematici opšte teorije relativnosti, kosmos će se na najvećim razmerama menjati, jer će se menjati i sam njegov supstrat – prostor. Večnog i statičnog kosmosa koji je Ajnštajn očekivao u svojim jednačinama naprosto nije bilo. On je pokrenuo kosmologiju ali je bio duboko razočaran kuda ga je matematika nanela.

Oporezivanje gravitacije

Često se kaže da je Ajnštajn zažmureo – da se vratio sveskama i u očajanju prepravio te divne jednačine opšte teorije relativnosti kako bi ih uskladio s uniformnim i nepromenljivim kosmosom. To je samo delimično tačno. Ajnštajn je zaista prepravio jednačine kako bi podržavale njegovo uverenje da je kosmos statičan, ali promena je bila minimalna i vrlo osetljiva.

Da biste stekli osećaj za ovaj matematički potez, setite se popunjavanja poreske prijave. Između redova u koje unosite brojeve raspoređeni su redovi koje preskačete. Matematički gledano, prazan red govori da je taj unos jednak nuli, ali psihološki on ima veće značenje. Prazan red ignorirate jer ste sigurni da nije relevantan za vašu finansijsku situaciju.

Kada bi matematika opšte teorije relativnosti bila raspoređena kao polja u poreskom obrascu, taj obrazac bi imao tri reda. Jedan bi opisivao geometriju prostorvremena – njegove nabore i krivine – koja utelovljuje gravitaciju. Drugi bi opisivao raspored mase u prostoru – izvor gravitacije – koji

uzrokuje nabore i krivine prostora. Tokom decenije intenzivnog istraživanja, Ajnštajn je razrađivao matematički opis ove dve karakteristike i popunio ta dva reda vrlo pažljivo. Ali, da bi poreski obrazac opšte teorije relativnosti bio pravilno popunjen, mora se popuniti i treći red. On je u apsolutno istoj matematičkoj ravni kao i druga dva, ali je njegovo fizičko značenje mnogo finije. Kada je opšta teorija relativnosti unapredila prostor i vreme u aktivne učesnike u širenju kosmosa, njihova uloga više nije bila samo da razgraniče gde i kada se nešto zbiva – oni su postali fizički entiteti s vlastitim unutrašnjim svojstvima. Treći red poreskog obrasca opšte teorije relativnosti kvantifikuje jedno posebno inherentno svojstvo prostorvremena koje je bitno za gravitaciju: *količinu energije ušivenu u sâmou tkanje prostorvremena*. Kao što svaki kubni metar vode sadrži određenu količinu energije, skupljenu u temperaturi vode, tako i svaki kubni metar prostora sadrži određenu količinu energije zbirno predstavljenu brojem u trećem redu. U radu u kojem je objavio opštu teoriju relativnosti Ajnštajn nije uzeo u obzir taj red. Matematički, to je isto kao da mu je vrednost jednaka nuli, ali kao i u našem primeru redovima u poreskoj prijavi, izgleda da ga je Ajnštajn ignorisao.

Kada se pokazalo da se opšta teorija relativnosti ne može uskladiti sa statičnim kosmosom, Ajnštajn se ponovo pozabavio matematikom i pažljivije razmotrio treći red. Shvatio je da nema eksperimentalnog ni opservativnog opravdanja da se on izjednači sa nulom. Shvatio je i da se u tom redu krije zapanjujuće fizičko značenje.

Kad je namesto nule u treći red uneo pozitivan broj, podarivši tako tkanju prostora uniformnu pozitivnu energiju, otkrio je (iz razloga koji ću objasniti u sledećem poglavlju) da će se svaki deo kosmosa odupirati od svih drugih delova, stvarajući nešto za šta je većina fizičara smatrala da je nemoguće: *odbojnu* gravitaciju. Štaviše, Ajnštajn je otkrio kako preciznim nameštanjem broja koji stavlja u treći red može dobiti odbojnu gravitaciju koja se stvara širom kosmosa i tačno uravnotežava uobičajenu privlačnu gravitacionu silu što potiče od materije raspoređene u prostoru, te tako daje statički kosmos. Kosmos bi bio nepromenljiv, poput lebdećeg balona, koji se ne uzdiže niti spušta.

Ajnštajn je unos iz trećeg reda nazvao *kosmološki član* ili *kosmološka konstanta*. Kada je došao do nje, mogao je da bude miran. Ili je mogao da bude mirniji. Kada bi kosmos imao kosmološku konstantu odgovarajuće vrednosti – to jest, kada bi prostor bio ispunjen odgovarajućom količinom unutrašnje energije – njegova teorija gravitacije uskladila bi se s

preovlađujućim verovanjem da je kosmos pri najvećim razmerama nepromenljiv. Nije mogao da objasni zašto bi u prostoru bilo baš onoliko energije koliko je potrebno za uravnotežavanje, ali je barem pokazao da opšta teorija relativnosti dopunjena kosmološkom konstantom prave vrednosti daje upravo onakav kosmos kakav svi očekuju.⁷

Primordijalni atom

Takvo je bilo stanje kada je Lemetr prišao Ajnštajnu na Solvejevoj konferenciji 1927. godine i predao mu svoj zaključak da opšta teorija relativnosti postavlja temelje za novu kosmološku paradigmu u kojoj bi se prostor širio. Kako se već borio s matematikom ne bi li obezbedio statičan kosmos i odbacio slične Fridmanove tvrdnje, Ajnštajn je imao malo strpljenja da još jednom razmotri mogućnost kosmosa koji se širi. Zbog toga je Lemetru rekao da slepo prati matematiku i praktikuje „užasnu fiziku“ u kojoj je moguće prihvatiti očito apsurdan zaključak.

Nije mali udarac kad oštru kritiku uputi kakva znamenita ličnost, ali Lemetr nije morao dugo da razmišlja o tome. Godine 1929, Edvin Hابل je prikupio, koristeći u to vreme najveći teleskop u opservatoriji Maunt Wilson, uverljive dokaze da se sve daleke galaksije udaljavaju od Mlečnog puta. Fotoni koje je Hابل posmatrao prenosili su jasnu poruku iz dalekih prostranstava: kosmos nije statičan. On se *zaista* širi. Ajnštajnovi razlozi za uvođenje kosmološke konstante su, prema tome, bili neosnovani. Model Velikog praska opisuje kosmos koji je u začetku bio enormno sabijen i od tada se širi. Taj model je postao naširoko obznanjena naučna priča o postanku.⁸

Lemetrove i Fridmanove tvrdnje su dokazane. Fridmanu je priznato da je prvi tragao za rešenjima kosmosa koji se širi, a Lemetru da ih je nezavisno razvio u robustan kosmološki scenario. Njihov rad je hvaljen kao trijumf matematičkog uvida u mehanizam funkcionisanja kosmosa. Nasuprot njima, Ajnštajn se kajao što se uopšte pozabavio trećim redom poreskog obrasca opšte teorije relativnosti. Da nije poslušao vlastito neopravdano uverenje o statičnom kosmosu, ne bi uveo kosmološku konstantu i možda bi predvideo kosmos koji se širi više od deceniju pre nego što je to uočeno.

I pored toga, priča o kosmološkoj konstanti nije se nimalo primakla kraju.

Modeli i podaci

Kosmološki model Velikog praska sadrži detalj koji će se pokazati suštinski bitnim. Model predviđa ne samo jedan kosmološki scenario već više različitih kosmoloških scenarija. Svi sadrže kosmos koji se širi, ali se razlikuju po ukupnom obliku prostora i, naročito, po tome da li je kosmos konačan ili beskonačan. Pošto je razlika između konačnog i beskonačnog vrlo važna u razmišljanju o paralelnim svetovima, izneću sve mogućnosti.

Kosmološki princip – pretpostavka o homogenosti kosmosa – ograničava geometriju prostora jer većina oblika nije dovoljno uniformna da bi se mogla kvalifikovati. Oni se negde krive, drugde ravnaju ili se na nekoliko mesta uvijaju. Ali, prema kosmološkom principu ne podrazumeva se *jedinstven* oblik za tri dimenzije prostora. Po tom principu mogućnosti su sužene na pažljivo odabrane skupove kandidata. Njihova vizuelizacija izazov je i za profesionalce ali je korisna činjenica da situacija u *dve* dimenzije pruža matematički precizan analogon koji lako možemo nacrtati.

Zamislite, najpre, savršeno okruglu bilijarsku loptu. Njena površina je dvodimenzionalna i potpuno uniformna budući da svako mesto na njoj izgleda jednako kao i bilo koje drugo. (Baš kao na površini Zemlje, položaj na površini lopte može se zadati s dva podatka – na primer, pomoću dužine i širine. I na to mislimo kada kažemo da je oblik dvodimenzionalan.) Matematičari površinu bilijarske lopte zovu *dvodimenzionalnom sferom* i za nju kažu da ima *konstantnu pozitivnu zakrivljenost*. Pridev *pozitivno* može se objasniti primerom – ako biste gledali svoj odraz u sfernom ogledalu, on bi bio iskrivljen prema spolja; pridev *konstantno* znači da bi odraz, gde god bio, na svim mestima sfere izgledao isto.

Zatim zamislite savršeno glatku površinu stola. Površina stola je uniformna kao i površina bilijarske lopte. Ili gotovo uniformna. Da ste mrav koji hoda po toj površini, pogled iz jedne tačke bio bi jednak pogledu iz bilo koje druge tačke, ali samo ako ste dovoljno daleko od ivice. I pored toga, potpunu uniformnost nije teško postići. Treba samo da zamislite površinu stola bez ivica, a to možete na dva načina. Zamislite površinu stola koja se beskonačno širi nadesno, i jednako tako nagore i nadole. To je pomalo čudno – radi se o beskonačno velikoj površini – ali je dobijena površina bez ivica, jer nema mesta na kojem biste mogli da padnete sa stola. A možete da zamislite i površinu stola sličnu prikazu u starim računarskim igrama. Kada Pekmen pređe preko leve ivice ekrana, ponovo se

pojavi na njegovom desnom kraju. Kada pređe preko gornje ivice, nađe se na dnu ekrana. Nijedna obična površina stola ne ponaša se tako, ali radi se o potpuno smislenom geometrijskom obliku koji se zove dvodimenzionalni *torus*. O njemu detaljnije govorim u beleškama,⁹ a ovde treba istaći samo da je ekran računarskih igrica, kao i beskonačna površina stola, uniformnog oblika i bez ivica. Prividne granice s kojima se sreće Pekmen su izmišljene. On može da ih prelazi i da pritom ostane u igri.

Matematičari kažu da su beskonačna površina stola i ekran video-igrice oblici koji imaju *konstantnu nultu zakrivljenost*. Nultu, zato što kada bismo gledali svoj odraz u ogledalu na površini stola ili ekranu video-igrice, slika ne bi bila deformisana, a konstantnu jer je slika uvek ista, bez obzira na mesto na kojem posmatrate odraz. Razlika između ta dva oblika biva očigledna samo iz globalne perspektive. Kada biste krenuli na put po beskonačnoj površini stola i držali isti kurs, nikada se ne biste vratili na mesto s kog ste pošli. Na ekranu računarske igre mogli biste da kružite oko celog oblika i nadete se na mestu odakle ste pošli uprkos tome što nimalo niste okrenuli upravljajući.

Na kraju – ovo će biti malo teže predstaviti – ako bi se komad čipsa marke Pringls protezao u beskonačnost, formirao bi još jedan složen uniformni oblik za koji matematičari kažu da ima *konstantnu negativnu zakrivljenost*. Kada biste gledali svoj odraz u ogledalu na bilo kom mestu na površini čipsa, slika bi bila izobličena prema unutra.

Na sreću, ovi opisi dvodimenzionalnih uniformnih oblika vrlo lako se proširuju na naš predmet interesovanja u trodimenzionalnom prostoru kosmosa. Pozitivna, negativna i nulta zakrivljenost – uniformno izobličene prema spolja, prema unutra ili bez izobličjenja – jednako dobro opisuju i uniformne trodimenzionalne oblike. Zapravo, mi smo dvostruko srećne ruke jer, iako je trodimenzionalne oblike teško predočiti (kada zamišljamo oblike naš um ih uvek smešta u okruženje – avion u prostoru, planeta u prostoru – ali kada je reč o samom prostoru, nema spoljašnjeg okruženja u koje bismo mogli da ga smestimo), oni su tako dobri analogoni svojih dvodimenzionalnih rođaka da se gubi vrlo malo kada se za mentalno vizuelizovanje koriste dvodimenzionalni primeri.

U sledećoj tabeli sažeo sam moguće oblike, uz objašnjenje da su neki konačni (sfera, ekran video-igre) a neki beskonačni (beskonačna površina stola, beskonačni komad čipsa Pringls). Tabela 2.1 nije potpuna. Postoje još neke mogućnosti s lepim imenima, poput *binarnog tetraedarskog prostora* i *Poenkareovog dodekaedarskog prostora*, i uniformnim zakrivljenostima, ali ih nisam naveo jer ih je teško prikazati korišćenjem svakodnevnih predmeta.

OBLIK	VRSTA ZAKRIVLJENOSTI	VELIČINA
Sfera	Pozitivna	Konačna
Površina stola	Nulta (ili „ravna“)	Beskonačna
Ekran video-igre	Nulta (ili „ravna“)	Konačna
Čips Pringles	Negativna	Beskonačna

Tabela 2.1 Mogući oblici prostora u skladu s pretpostavkom da je svako mesto u kosmosu ravnopravno s bilo kojim drugim (kosmološki princip).

Pažljivim izrezivanjem i deljanjem oni se mogu izraditi od oblika koje sam naveo u tabeli, pa ona zbog toga predstavlja dobar reprezentativan uzorak. No, to su sve sporedni detalji spram glavnog zaključka: *Uniformnost kosmosa izražena kroz kosmološki princip na važan način utiče na njegove moguće oblike. Neki od mogućih oblika protežu se u beskonačnost, dok su drugi ograničeni.*¹⁰

Naš kosmos

Širenje prostora koje su matematički otkrili Fridman i Lemetr doslovno se primenjuje na kosmos u bilo kom navedenom obliku. Za pozitivnu zakrivljenost zamislite dvodimenzionalnu površinu balona koja se širi dok se balon puni vazduhom. Za nultu zakrivljenost zamislite ravno parče gumice koje se ravnomerno nateže sa svake strane. Za negativnu zakrivljenost zamislite isto takvo parče gumice u obliku čipsa Pringles i nastavite da ga rastežete. Ako su galaksije kao ravnomerno raspoređene kapi rose na tim površinama, usled širenja prostora pojedinačne kapi – galaksije – udaljavaju se jedne od drugih, kao što je ustanovio Hابل 1929. godine.

To je izazovan kosmološki šablon, ali da bi bio konačan i potpun, moramo utvrditi koji uniformni oblik opisuje naš kosmos. Oblik nekog poznatog objekta – krofne, loptice za bejzbol ili kocka leda – možemo da utvrdimo tako što ćemo ga uzeti i pogledati sa svih strana. Problem je što to ne možemo da uradimo s kosmosom, pa njegov oblik utvrđujemo posredno. Jednačine opšte teorije relativnosti pružaju matematičku strategiju. One pokazuju da se zakrivljenost prostora svodi na jedan opservabilni kvantitet: gustinu materije (preciznije, materije i energije) u prostoru. Ako ima mnogo materije, gravitacija će uzrokovati da se prostor uvijek i daće sferni kosmos. Ukoliko je materije malo, kosmos može da se izvije

prema spolja u obliku čipsa. A u slučaju da materije ima upravo koliko je potrebno, kosmos će imati nultu zakrivljenost.*

Jednačine opšte teorije relativnosti takođe pružaju precizna numerička razgraničenja između tri mogućnosti. Matematika pokazuje da odgovarajuća količina materije, takozvana kritična gustina, danas iznosi oko 2×10^{-29} grama po kubnom metru. To je oko šest atoma vodonika po kubnom metru što je, izraženo u poznatijim pojmovima, ekvivalentno jednoj kapi kiše u zapremini koja je jednaka zapremini Zemlje.¹¹ Ako pogledate unaokolo sigurno će vam izgledati da kosmos prelazi kritičnu gustinu, ali to bi bio brzoplet zaključak. U matematičkom proračunu kritične gustine masa je ravnomerno raspoređena u prostoru. Zbog toga morate da zamislite kako uzimate Zemlju, Mesec, Sunce i sve ostalo i atome koji ih sačinjavaju ravnomerno razbacujete po celom kosmosu. Nakon toga postavite pitanje hoće li svaki kubni metar težiti više od šest atoma vodonika ili manje od toga.

Astronomi su decenijama pokušavali da izmere prosečnu gustinu materije u kosmosu upravo zbog njenih važnih posledica na kosmologiju. Njihova metoda je jednostavna. S moćnim teleskopima pažljivo posmatraju velike delove prostora i sabiraju masu zvezda koje uoče kao i mase drugih objekata čije postojanje mogu da pretpostave proučavanjem kretanja zvezda i galaksija. Posmatranja su donedavno pokazivala da je prosečna gustina mala i iznosi oko 27 procenata kritične gustine – što je ekvivalentno oko dva atoma vodonika po kubnom metru – i ukazuje na negativnu zakrivljenost prostora.

Onda se krajem devedesetih dogodilo nešto izvanredno. Kroz niz izvršnih opažanja i zaključaka, o kojima ćemo detaljnije govoriti u poglavlju 6, astronomi su shvatili da su u proračunima ispuštali suštinski važan deo: difuznu energiju koja je, izgleda, ravnomerno raspoređena u prostoru. Ti podaci zaprepastili su gotovo svakoga. Energija koja ispunjava prostor? To zvuči kao kosmološka konstanta koju je, kako smo videli, Ajnštajn uveo i zatim nakon osam godina povukao. Jesu li moderna zapažanja vratila kosmološku konstantu u život?

Još uvek nismo sigurni. I danas, deset godina od početnih posmatranja, astronomi ne znaju da li je uniformna energija nepromenljiva ili se u

* Uzimajući u obzir raniju raspravu o tome kako materija zakrivljuje prostor u području u kojem se nalazi, možda se pitate kako se može dogoditi da nema zakrivljenosti ako je materija prisutna? To je zato što ravnomerno prisutna materija zakrivljuje prostorvreme. U ovom konkretnom slučaju, zakrivljenost prostora je nulta, ali zakrivljenost prostorvremena nije.

datom delu kosmosa menja s vremenom. Kosmološka konstanta, kao što joj i ime govori (a nameće i njeno matematičko predstavljanje u obliku fiksnog broja dobijenog iz jednačina opšte teorije relativnosti), bila bi nepromenljiva. Naučnici su skovali nov naziv, *tamna energija*, kako bi u obzir uzeli uopšteniju mogućnost da se energija menja i kako bi naglasili da ne emituje svetlost (što objašnjava zašto je tako dugo ostala neotkrivena). Pridev „tamno“ takođe dobro opisuje i mnoge praznine u našem znanju. Niko ne može da objasni poreklo tamne energije, njen osnovni sastav ili detaljna svojstva – time se naučnici trenutno intenzivno bave, a ja ću se na te teme vratiti u narednim poglavljima.

Ali, čak i pored brojnih otvorenih pitanja, kroz detaljna posmatranja pomoću Hablovog svemirskog teleskopa i drugih opservatorija na Zemlji postignut je konsenzus o količini tamne energije koja sada prožima prostor. Rezultat se razlikuje od onog koji je Ajnštajn davno predložio (budući da je on prihvatio vrednost koja daje statičan kosmos a naš kosmos se širi). To nije iznenađenje. Ali, jeste iznenađujuće to da su merenja pokazala kako tamna materija koja ispunjava prostor učestvuje sa 73 procenta u kritičnoj gustini. *Kada se taj udeo doda udelu od 27 procenata koji su astronomi još ranije izmerili, to daje ukupno sto procenata kritične gustine – upravo onoliko materije i energije koliko je potrebno za kosmos s nultom zakrivljenošću.*

Trenutno dostupni podaci idu u prilog kosmosu koji se večno širi i oblikovan je kao trodimenzionalna verzija beskonačno velike površine stola ili konačnog ekrana video-igre.

Realnost u beskonačnom kosmosu

Na početku ovog poglavlja naveo sam da ne znamo je li kosmos konačan ili beskonačan. U prethodnim odeljcima pokazao sam da se obe mogućnosti prirodno pojavljuju u teorijskim proučavanjima, te da su u skladu s najboljim astrofizičkim merenjima i posmatranjima. Kako bismo jednog dana mogli da posmatranjem utvrdimo koja mogućnost je tačna?

To je teško pitanje. Ako je kosmos konačan, onda bi deo svetlosti koju emituju zvezde i galaksije mogao da proputuje ceo kosmos nekoliko puta pre nego što dođe do našeg teleskopa. Kao ponovljena slika koja se stvara kada se svetlost odbija između dva paralelna ogledala, tako bi i odbijena svetlost dala ponovljene slike galaksija i zvezda. Astronomi su tražili takve slike no još nijednu nisu našli. To ne dokazuje da je kosmos beskonačan,

ali sugeriše kako je, ukoliko je konačan, možda toliko velik da svetlost nije imala vremena da stigne do kraja i odbije se. Tako smo dobili izazov za posmatranje. Čak i ako je kosmos konačan, što je veći to se lakše može maskirati u beskonačan kosmos.

Za pojedina kosmološka pitanja, a takvo je ono o starosti kosmosa, razlika između te dve mogućnosti ne igra nikakvu ulogu. Bilo da je kosmos konačan ili beskonačan, galaksije su nekada bile sabijene u vrlo mali prostor čineći kosmos gustim, vrućim i prepunim ekstrema. Današnja posmatranja brzine širenja možemo da koristimo zajedno s teorijskim analizama promene te brzine tokom vremena kako bismo saznali koliko je prošlo od trenutka kada je sve što vidimo bilo sabijeno u jedan neverovatno gust komadić koji zovemo početak. I za konačan i za beskonačan kosmos najbolje današnje analize to stanje smeštaju u trenutak pre oko 13,7 milijardi godina.

Ali, za neka druga razmatranja važno je razlikovati konačnu i beskonačnu mogućnost. U slučaju konačnog kosmosa, na primer, kakvim ga smatramo od najranijih vremena, tačno je prikazati svekoliki prostor kako se neprekidno skuplja. Iako se matematika i sama slama u nultom trenutku vremena, prihvatljivo je zamišljati kako kosmos postaje sve manja tačka dok se vreme približava nuli. U slučaju beskonačnog kosmosa, ovakav opis je pogrešan. Ako je kosmos zaista beskonačan, onda on postoji oduvek i postojaće zauvek. Kada se sabija, njegov sadržaj se sve više približava što gustinu materije čini sve većom. Ali njegove ukupne razmere ostaju *beskonačne*. Na kraju krajeva, ako beskonačno veliku površinu stola smanjite za faktor 2, šta ćete dobiti? Pola od beskonačno, što je i dalje beskonačno. Smanjite je za faktor milion i šta ćete dobiti? I dalje beskonačno. Dok zamišljate kosmos koji je sve bliži nultom trenutku, njegova gustina je sve veća ali se razmere prostora ne menjaju.

Iako posmatranja ostavljaju nerešeno pitanje konačnosti odnosno beskonačnosti kosmosa, primetio sam da fizičari i kosmolozi, kada ih pritisnete, teže da prednost daju beskonačnom kosmosu. Delom mislim da je takvo stajalište ukorenjeno u istorijskoj slučajnosti da su tokom mnogih decenija istraživači posvećivali manje pažnje obliku konačnog ekrana video-igre, uglavnom zato što je taj oblik matematički teže analizirati. To stajalište možda odražava čestu zabluđu da je razlika između beskonačnog i veoma velikog ali konačnog kosmosa samo kosmološka razlika važna jedino u akademskom proučavanju. Na kraju krajeva, ako

je prostor toliko velik da će vam biti dostupan samo njegov vrlo mali deo, treba li da se brinete je li konačan ili beskonačan?

Da, treba. Pitanje da li je kosmos konačan ili beskonačan ima vrlo dubok uticaj na samu prirodu stvarnosti. I to nas dovodi do srži ovog poglavlja. Razmotrimo mogućnost da je kosmos beskonačan i sve njene implikacije. Uz mali trud zateći ćemo se kako nastanjujemo jedan iz beskonačnog skupa paralelnih svetova.

Beskonačan prostor i pokrivač od našivenih komada tkanine

Krenimo od onoga što je jednostavno, ovde na Zemlji i daleko od beskraja beskonačnog kosmosa. Zamislite da je vaša prijateljica Imelda, kako bi zadovoljila svoju potrebu da bude uvek drugačija i posebna, nabavila petsto komada bogato ukrašenih haljina i hiljadu pari dizajnerskih cipela. Ako svakog dana nosi jednu haljinu s jednim parom cipela, u jednom trenutku iscrpeće sve moguće kombinacije i ponoviti kombinaciju koju je već nosila. Lako možemo da ustanovimo kada će se to desiti. Petsto haljina i hiljadu pari cipela daje petsto hiljada kombinacija. Petsto hiljada dana je oko 1400 godina, pa ako bi Imelda dovoljno poživela, jednog dana bi se našla u kombinaciji koju je već nosila. Ako bi Imelda, blagoslovena dugovečnošću, nastavila da kombinuje haljine i cipele sigurno bi svaku kombinaciju nosila beskonačan broj puta. Beskonačan broj oblačenja s konačnim brojem odevnih predmeta garantuje da će se kombinacije beskonačno ponavljati.

Nastavljajući u istom stilu, zamislite da je Rendi, profesionalni krupije, promešao neverovatno veliki broj špilova, jedan po jedan, i uredno ih poslaga jedan pored drugog. Može li redosled karata u svakom promešanom špilu biti različit ili se moraju ponavljati? Odgovor zavisi od broja špilova. Pedeset dve karte mogu da se rasporede na 80.658.175.170.943.878.571.660.636.856.403.766.975.289.505.440.883.277.824.000.000.000.000 načina (52 mogućnosti za prvu kartu puta 51 mogućnost za drugu puta 50 mogućnosti za treću i tako dalje). Ako broj špilova koje je Rendi promešao prevazilazi broj mogućih kombinacija karata, onda će se neki špilovi ponavljati. Ako je Rendi promešao beskonačan broj špilova, kombinacije karata u špilu ponavljace se beskonačan broj puta. Kao i u slučaju Imelde i njenih kombinacija,

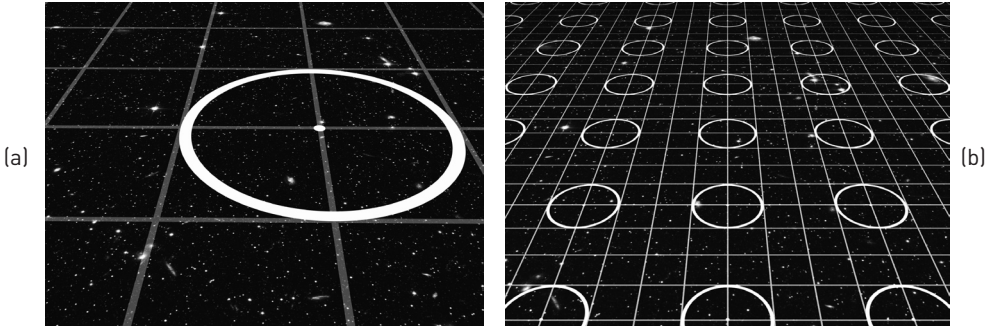
beskonačan broj pojavljivanja s konačnim brojem mogućih konfiguracija garantuje da će se kombinacije ponavljati beskonačan broj puta.

Ovo jednostavno zaključivanje vrlo je važno za kosmologiju beskonačnog kosmosa. Dva ključna koraka pokazuju zašto.

U beskonačnom kosmosu većina regiona nalazi se izvan dosega pogleda, čak i kroz najsnažniji teleskop. Iako svetlost putuje enormnom brzinom, ako je objekat dovoljno daleko, svetlost koju emituje – pa i svetlost emitovana kratko nakon Velikog praska – naprosto nije imala vremena da stigne do nas. Pošto je kosmos star oko 13,7 milijardi godina, sve što je udaljenije od 13,7 milijardi svetlosnih godina spada u tu kategoriju. Logika u pozadini ove intuicije gađa pravo u cilj, ali širenje prostora povećava udaljenost do objekata čija svetlost dugo putuje i koja je upravo doprla do nas. Zbog toga je maksimalna udaljenost do koje možemo da vidimo zapravo veća – oko 41 milijardu svetlosnih godina.¹² Opet, tačne vrednosti ne igraju važnu ulogu. Važno je razumeti da su delovi kosmosa čija je udaljenost veća od određene udaljenosti izvan dosega našeg posmatranja. Kao što su brodovi koji su otplovili iza horizonta nevidljivi osobi koja stoji na obali, astronomi kažu da su objekti udaljeni toliko da se ne mogu videti iza našeg *kosmičkog horizonta*.

Slično tome, svetlost koju mi emitujemo još nije mogla da dođe do tih udaljenih delova pa smo mi iza njihovog kosmičkog horizonta. Pored toga, kosmički horizont ne razdvaja samo ono što neko može ili ne može da vidi. Iz Ajnštajnovе specijalne teorije relativnosti znamo da nijedan signal, poremećaj, informacija, *ništa*, ne može da putuje brže od svetlosti. To znači da su delovi kosmosa koji su toliko udaljeni da svetlost nije imala dovoljno vremena da je prevali takvi da nikada nisu imali međusobnog uticaja i da su se zbog toga potpuno nezavisno razvijali.

Koristeći dvodimenzionalnu analogiju možemo da uporedimo ogromnost prostora, u datom trenutku vremena, s divovskim pokrivačem sašivenim od komada tkanina (kružnog oblika) koji predstavljaju pojedinačne kosmičke horizonte. Neko ko se nađe u sredini komadića tkanine može da stupi u interakciju sa svime što leži na istom komadu, ali ne može ni sa čim što leži na drugom komadu (slika 2.1a) jer je previše udaljen. Tačke koje leže bliže ivicama tkanine bliže su nego središta tkanina pa su mogle da stupe u interakciju. Ali, ako razmotrimo komade tkanina u svakom drugom redu i svakom drugom stupcu kosmičkog pokrivača, sve tačke na različitim komadima međusobno su toliko udaljene da ne mogu ostvariti nikakvu interakciju (slika 2.1b). Ista ideja primenjuje se



Slika 2.1 (a) Zbog konačne brzine svetlosti posmatrač u sredini bilo kog komada tkanine (posmatračevog kosmičkog horizonta) mogao je da stupi u interakciju samo s objektima na istom komadu tkanine. (b) Dovoljno udaljeni kosmički horizonti previše su udaljeni da bi ostvarili interakciju pa su se razvijali potpuno nezavisno jedni od drugih.

i na trodimenzionalan prostor u kojem su komadi tkanine sferni i gde se može izvući isti zaključak: dovoljno udaljeni komadi leže izvan sfere međusobnog uticaja pa su, sledstveno tome, potpuno nezavisne celine.

Ako je kosmos velik ali konačan, možemo da ga podelimo na veliki ali konačan broj takvih nezavisnih komada. Ukoliko je kosmos beskonačan, postoji *beskonačan* broj takvih nezavisnih komada. Ova druga mogućnost je naročito zanimljiva, a drugi deo razmatranja objašnjava zašto. Kao što ćete sada videti, čestice materije (preciznije, materije i svih oblika energije) mogu da se rasporede samo na konačan broj načina. Primenjujući zaključivanje kao i u slučaju Imelde i Rendija, to znači da se uslovi u beskonačnosti udaljenih komada – u delovima kosmosa, poput ovog koji naseljavamo, raspoređenim kroz beskonačnost kosmosa – *nužno ponavljaju*.

Konačan broj mogućnosti

Vrelo je leto i po spavaćoj sobi leti dosadna muva. Pokušavate da joj doskočite s mrežicom i otrovnim sprejom. Ništa ne deluje. U potpunom očaju nastojite da budete razumni. „Soba je velika“, kažete vi muvi. „Ima toliko mesta na kojima možeš da budeš. Nema razloga da mi zuiš kod uva.“ „Stvarno?“, kaže muva. „A koliko je takvih mesta?“

U klasičnom kosmosu odgovor glasi: „Beskonačno mnogo”. Kao što ste rekli muvi, ona može da se pomeri (tačnije rečeno, njen centar mase) tri metra ulevo ili dva i po metra udesno ili 2,236 metara nagore ili 1,195829 metara nadole ili... shvatili ste. Pošto položaj muve može da se menja kontinualno, postoji beskonačan broj mesta na kojima se muva može naći. Zapravo, dok ste sve ovo objasnili muvi, shvatili ste ne samo da položaj omogućava muvi beskonačnu raznolikost, nego da joj to omogućava i brzina. U jednom trenutku muva može da se nalazi ovde i da se kreće desno brzinom od jednog kilometra na sat, ili da se kreće prema gore brzinom od 250 metara na sat, ili da se kreće nadole brzinom od 0,349283 kilometara na sat i tako dalje. Iako brzinu muve ograničavaju brojni faktori (u koje spada i ograničena količina energije koju poseduje, jer, dok leti, mora da troši više energije), ona može da se kontinualno menja pa tako pruža još jedan način za postizanje beskonačne raznolikosti.

Muva je nepoverljiva. „Verujem ti kada govoriš o pomeranju za centimetar, pola centimetra, pa čak i četvrtinu centimetra”, odgovara muva. „Ali kada govoriš o mestima međusobno udaljenim desethiljaditi ili stohiljaditi deo centimetra ili čak i manje – e, to mi je neverovatno. To mogu da budu različita mesta za nekog naučnika, ali besmisleno je reći da su *ovde* i milijarditi deo centimetra ulevo od *ovde* različita mesta. Ne mogu da zapazim tako malu promenu položaja pa zato ne mogu ni da ta dva mesta nazovem različitim. Isto vredi i za brzinu. Mogu da vidim razliku između brzine od jednog kilometra na sat i polovine te brzine, ali razlika između 0,25 kilometara na sat i 0,249999999? Nije nego. Samo bi mudra muva tvrdila kako može da oseti razliku. U stvarnosti, niko od nas ne može. Što se mene tiče, to su iste brzine. Mnogo je manje mogućih položaja i brzina nego što govoriš.“

Muva je naglasila važnu stvar. U načelu, ona može da zauzima beskonačno mnogo različitih položaja i da se kreće s beskonačno mnogo različitih brzina. Ali u svakom praktičnom smislu postoji granica iza koje se razlika između dva položaja i brzine gubi. To bi bilo tačno i kada bi muva koristila najsavremeniju mernu opremu. Uvek postoji ograničenje koliko mala promena položaja ili brzine mora da bude kako bi se mogla zapaziti. Ma koliko su fine te minimalne promene, ako nisu nula, one umnogome smanjuju raspon mogućeg iskustva.

Na primer, ako najmanja promena položaja koju čovek može da zapazi iznosi stoti deo centimetra, tada svaki centimetar nudi samo sto prepoznatljivo različitih lokacija a ne beskonačan broj. Svaki kubni centimetar

bi omogućavao $100^3 = 1.000.000$ različitih lokacija, a prosečna spavaća soba oko sto biliona. Teško je reći da li bi muva sve ove položaje mogla da prihvati kao dovoljno impresivan broj i da se drži podalje od vašeg uva. Zaključak je da *sva merenja osim onih sa savršenom rezolucijom smanjuju broj mogućnosti s beskonačnog na konačan.*

Možete se usprotiviti i kazati kako je nesposobnost da se razluče male razlike u položaju ili brzini samo tehnološko ograničenje. Preciznost uređaja stalno se povećava pa će se broj prihvatljivo različitih položaja i brzina za imućnu muvu takođe stalno povećavati. Ovde moram da se pozovem na osnove kvantne mehanike. Prema kvantnoj mehanici, postoji precizno fundamentalno ograničenje tačnosti merenja čestica i to ograničenje nikada neće moći da bude prevaziđeno, bez obzira na napredak. Ono proizlazi iz najvažnije karakteristike kvantne mehanike – *principa neodređenosti.*

Kako stoji u principu neodređenosti, bez obzira na opremu ili tehniku koju koristite, ako povećate rezoluciju merenja jednog svojstva javlja se neizbežan gubitak s druge strane: smanjuje se tačnost merenja komplementarnog svojstva. Iz principa neodređenosti vidimo da, na primer, što tačnije merimo položaj objekta sve manje tačno merimo njegovu brzinu, i obrnuto.

Iz perspektive klasične fizike – koja veći deo naše intuicije obaveštava o tome kako svet funkcioniše – ovo ograničenje je potpuno strano. Ali, kao grubu analogiju, zamislite da fotografirate tu dosadnu muvu. Ako je okidač fotoaparata brz, dobićete oštru fotografiju koja je zabeležila položaj muve u trenutku kada ste okinuli. Pošto je slika oštra, muva izgleda nepokretno. Slika ne daje informaciju o kretanju muve. Ukoliko podesite manju brzinu okidača, donekle manje oštra slika koja tada nastane omogućiće da ponešto naslutite o kretanju muve. Istovremeno ćete znati manje i o položaju muve jer je slika mutna. Ne možete snimiti fotografiju koja istovremeno pruža jasnu informaciju i o položaju i o kretanju muve.

Koristeći matematički mehanizam kvantne mehanike, Verner Hajzenberg tačno je utvrdio granicu nepreciznosti za kombinovana merenja brzine i položaja. Ta neizbežna nepreciznost je ono što se u kvantnoj fizici podrazumeva pod neodređenošću. Za naše potrebe postoji posebno koristan način tumačenja njegovog rezultata. Otprilike kao što je za oštriju fotografiju neophodna veća brzina okidača, Hajzenbergova matematika pokazuje da je za preciznije merenje položaja objekta neophodno koristiti sondu veće energije. Uključite noćnu lampu koja stoji pored kreveta i tako nastala sonda – difuzna svetlost niske energije – omogućiće vam da prepoznate opšti oblik udova i očiju muve. Osvetlite je fotonima veće

energije, na primer x-zracima (pri tome osvetljenje mora da bude kratko kako se muva ne bi skuvala), i finija rezolucija otkriće minijaturne mišice koji pokreću krila muve. Savršena rezolucija, prema Hajzenbergu, iziskuje sondu beskonačne energije. To nije moguće postići.

I tako smo došli do vrlo važnog zaključka. Klasična fizika jasno govori da je u praksi nemoguće postići savršenu rezoluciju. Štaviše, prema kvantnoj fizici savršena rezolucija u načelu je nedostižna. Ako zamišljate kako se brzina i položaj objekta – bilo da je to muva ili elektron – menjaju za dovoljno mali iznos, onda, prema kvantnoj mehanici, zamišljate nešto što je besmisleno. Promene koje su toliko male da se ne mogu izmeriti, čak ni u načelu, uopšte nisu promene.¹³

Iz istog zaključivanja koje smo koristili u analiziranju kinematike muve pre nego što smo primenili kvantne principe, proizlazi da ograničenje rezolucije smanjuje broj različitih položaja i brzina objekta od beskonačnog na konačnu vrednost. A pošto je ograničena rezolucija koju nameće kvantna mehanika utkana u suštinu fizičkog zakona, ova redukcija na konačan broj mogućnosti ujedno je i neizbežna i neoboriva.

Kosmičko ponavljanje

Toliko o movama u spavačoj sobi. Sada zamislite veći deo prostora. Zamislite deo veličine današnjeg kosmičkog horizonta, sferu s poluprečnikom od 41 milijarde svetlosnih godina. Deo koji je veliki kao jedna zakrpa na kosmičkom pokrivaču. Zamislite sada da je ispunjen, i to ne jednom movom nego česticama materije i zračenja. Sada se postavlja pitanje: koliko je mogućih rasporeda čestica u tom prostoru?

Pa, kao i s Lego kockicama, što ih više imate – to jest, što ste više materije i zračenja smestili u deo prostora – veći je i broj kombinacija na koje ih možete rasporediti. Ali čestice ne možete beskonačno trpati u prostor. Čestice nose energiju, pa više čestica znači više energije. Ako deo prostora sadrži previše energije urušiće se pod vlastitom težinom i stvoriti crnu rupu.* A ako nastavite da ubacujete još materije i energije u prostor nakon

* O crnim rupama detaljnije govorim u poglavljima koja slede. Ovde ćemo se zadržati na uobičajenom prikazu, sada već dobro uvreženom u popularnoj kulturi, dela prostora – zamislite ga kao loptu u kosmosu – čije je gravitaciono privlačenje toliko jako da ništa što prede njegov rub više ne može da pobegne. Što je masa crne rupe veća, veća je i njena veličina. Dakle, kada nešto upadne u crnu rupu ne povećava se samo njena masa nego i veličina.

što se formirala crna rupa, njena granica (njen *horizont događaja*) povećavaće se i ona će zauzimati više prostora. Prema tome, postoji ograničenje količine materije i energije koja može da postoji u prostoru date veličine. Za prostor veličine današnjeg kosmičkog horizonta ta maksimalna količina je ogromna (oko 10^{56} grama). Ali ovde nije važno koliko je to ograničenje, nego činjenica da ono uopšte *postoji*.

Konačna količina energije unutar kosmičkog horizonta nameće konačan broj čestica, bilo da se radi o elektronima, protonima, neutronima, neutrinima, mionima, fotonima ili bilo kojoj drugoj znanoj ili još neotkrivenoj čestici. Konačna količina energije u kosmičkom horizontu nameće i ovo ograničenje: svaka prisutna čestica, poput muve u spavaćoj sobi, može da zauzme samo konačan broj položaja i brzina, što dalje znači da je unutar bilo kog kosmičkog horizonta moguć samo konačan broj različitih rasporeda čestica. (U elegantnijem izražavanju na jeziku kvantne teorije, s kojim ćemo se upoznati u poglavlju 8 ne govorimo o položajima i brzinama čestica nego o njihovim kvantnim stanjima. Iz te perspektive rekli bismo da postoji samo konačan broj opservabilno različitih kvantnih stanja za čestice u tom komadu kosmičkog pokrivača.) Zapravo, kratak proračun – opisan u beleškama, u slučaju da vas zanimaju pojedinosti – pokazuje da je broj različitih konfiguracija čestica u kosmičkom horizontu oko $10^{10^{122}}$ (jedinica iza koje sledi 10^{122} nula). Ovo je ogroman, ali svakako konačan broj.¹⁴

Ograničen broj mogućih različitih kombinacija odevnih predmeta garantuje da će nakon dovoljnog broja oblačenja Imelda početi da oblači kombinacije koje je već nosila. Ograničen broj različitih rasporeda karata u špilu garantuje da će se u dovoljno velikom broju špilova rasporedi karata ponavljati. Zbog istog razloga, ograničen broj rasporeda čestica jamči kako će ti rasporedi početi da se ponavljaju ako postoji dovoljan broj kosmičkih horizonata – komada u kosmičkom pokrivaču. Čak i kada biste mogli da se igrate kosmičkog dizajnera i pokušali da rasporedite svaki komad tako da bude drukčiji od prethodnog, ako biste radili u dovoljno velikom prostoru, na kraju biste potrošili sve unikatne rasporede i morali biste da ih ponovite.

U beskonačno velikom kosmosu ponavljanje je još ekstremnije. Postoji beskonačno mnogo komada u beskonačnom prostoru. I pošto ima samo konačno mnogo različitih rasporeda čestica, rasporedi čestica unutar tih komada moraju da se ponavljaju beskonačno mnogo puta.

To je zaključak koji smo tražili.

Samo fizika

Trebalo bi da naglasim kako sam pristrasan u tumačenju implikacija ovog iskaza. Verujem da fizički sistem potpuno određuje raspored njegovih čestica. Ako mi kažete kako su raspoređene čestice koje čine Zemlju, Sunce, galaksiju i sve ostalo, potpuno ćete rečima izraziti stvarnost. Ovaj redukcionistički pristup je čest među fizičarima, ali ima i drugačijih mišljenja. Posebno kada je u pitanju život, neki veruju da je potreban osnovni nefizički aspekt (duh, duša, životna sila, či itd.) koji će pokrenuti fizički. Iako ostajem otvoren prema toj mogućnosti, nisam još naišao na dokaz u njenu korist. Lično, najviše smisla vidim u mišljenju da su nečije fizičke i mentalne karakteristike samo manifestacija načina na koji su čestice raspoređene u telu te osobe. Zadajte raspored čestica i zadali ste sve.¹⁵

Držimo li se te perspektive, zaključićemo sledeće: ako bi se raspored čestica s kojima živimo ponovio u drugom komadu kosmičkog pokrivača – drugom kosmičkom horizontu – takav komad bi u svakom pogledu izgledao i ponašao se kao naš. Stoga, ako je kosmos beskonačan, niste usamljeni u reakciji prema ovom upravo iznetom pogledu na stvarnost. Negde u kosmosu postoje mnoge vaše savršene kopije koje se jednako osećaju. I nema načina da se kaže koja od njih ste *stvarno* vi. Sve verzije su fizički, dakle i mentalno, identične.

Možemo čak i proceniti udaljenost do najbliže takve kopije. Ako se rasporedi čestica slučajno distribuiraju između komada (ta pretpostavka je kompatibilna s dobro razrađenom kosmološkom teorijom s kojom ćemo se sresti u sledećem poglavlju), onda možemo da očekujemo kako će se uslovi u našem komadu udvajati jednako često kao i u drugim komadima. U svakoj kolekciji od $10^{10^{122}}$ komada kosmičkog pokrivača možemo očekivati da će, u proseku, biti bar jedan komadić koji liči na naš. Odnosno, u svakom delu kosmosa čiji je prečnik $10^{10^{122}}$ metara trebalo bi da se nalazi jedan komad koji je replika našeg – koji sadrži vas, Zemlju, našu galaksiju i sve što se nalazi u našem kosmičkom horizontu.

Ako spustite kriterijume i ne tražite potpuno jednaku kopiju celog kosmičkog horizonta, nego ste zadovoljni tačnom kopijom dela čiji je prečnik nekoliko svetlosnih godina a centar mu je u našem Suncu, tu kopiju ćete lakše pronaći: u proseku bi trebalo da u svakom delu prečnika $10^{10^{100}}$ metara nađete jednu takvu kopiju. Još je lakše naći približne kopije. Na kraju krajeva, postoji samo jedan način da se tačno kopira deo,

ali mnogi načini da se *gotovo* kopira. Ako biste posetili te malo drugačije kopije videli biste da se neke jedva razlikuju od originala dok se u drugima razlike kreću od očiglednih, preko uzbudljivih, do šokantnih. Svaka odluka koju ste u životu doneli odgovara određenom rasporedu čestica. Ako ste se okrenuli levo, čestice su se rasporedile na jedan način. Ako ste se okrenuli desno, čestice su se rasporedile na drugi način. Ukoliko ste rekli: „Da“, čestice u mozgu, usnama i glasnim žicama raspoređivale su se na jedan način. Ukoliko ste rekli: „Ne“, raspoređivale su se na drugi način. I tako, svaka moguća akcija, svaki izbor koji ste napravili i svaka opcija koju ste odbacili biće odigrana u jednom ili drugom komadu kosmičkog pokrivača. U nekima će se ostvariti ono najgore za šta ste strepeli da će se dogoditi vama, vašoj porodici i životu na Zemlji. U drugima će se ostvarivati vaši najlepši snovi. U trećim će se razlike nastale iz sličnog, ali ipak različitog, rasporeda čestica, kombinovati u neprepoznatljivo okruženje. A u većini komada čestice se neće slagati u specijalizovane rasporede koje prepoznajemo kao žive organizme, pa će biti beživotne ili u njima bar neće biti života u nama poznatom obliku.

S vremenom će se povećati ti kosmički komadi kakvi su nacrtani na slici 2.1b. Kada ima više vremena na raspolaganju, svetlost može da pređe duži put pa će i kosmički horizonti biti sve veći. Na kraju će početi da se preklapaju. Kada se to desi, delovi prostora više neće moći da se smatraju odvojenim i izolovanim i paralelni kosmosi više neće biti paralelni – spojiće se. Bez obzira na to, rezultati do kojih smo došli i dalje će biti valjani. Samo napravite novi raspored komada tkanine na kosmičkim pokrivaču na kome veličinu tih komada određuje udaljenost koju je svetlost mogla da pređe od trenutka Velikog praska do tog kasnijeg trenutka. Pošto će komadi biti veći, da bi se popunio uzorak kao na slici 2.1b njihovi centri moraju da budu više razmaknuti. No, pošto na raspolaganju imamo beskonačno velik prostor, biće dovoljno mesta da se prilagodimo toj promeni.¹⁶

Stigli smo do zaključka koji je uopšten koliko i provokativan. Stvarnost u beskonačnom kosmosu nije onakva kakvu očekujemo. U bilo kom trenutku kosmičko bespuće sadrži beskonačan broj posebnih delova – konstituenata onoga što nazivam *višeslojni multiverzum* (engl. *quilted multiverse*) – između ostalih i naš opservabilni kosmos, sve što vidimo na prostranom noćnom nebu. Slikajući taj beskonačan skup odvojenih delova otkrili smo da se raspoređuju čestice ponavljaju beskonačan broj puta. Stvarnost koja postoji u bilo kom datom kosmosu, uključujući i naš, ponavlja se u beskonačnom broju drugih kosmosâ širom višeslojnog multiverzuma.¹⁷

Kako da to tumačimo?

Možda vam ono što smo zaključili deluje tako neverovatno da ćete osetiti poriv da ovo razmatranje okrenete naglavce. Možda ćete tvrditi da je neobičnost našeg otkrića – beskonačnih kopija vas, svih i svega – dokaz pogrešne prirode jedne ili više pretpostavki koje su nas dotle dovele.

Može li biti pogrešna pretpostavka da je ceo kosmos naseljen česticama? Možda se iza našeg kosmičkog horizonta nalazi samo ogroman prazan prostor bez ičega. Moguće je, ali teorijsko izvrtnje neophodno da bi se takva slika mogla postaviti čini je neuverljivom. Najrazrađenije kosmološke teorije, s kojima ćete se uskoro upoznati, ne vode nas ni blizu takve mogućnosti.

Mogu li zakoni fizike biti drugačiji iza našeg kosmičkog horizonta i sprečiti nas da sprovodimo bilo kakvu teorijsku analizu prostora koji se tamo nalazi? I to je moguće. Ali, kao što ćemo videti u sledećem poglavlju, nedavna istraživanja iznedrila su uzbudljiv dokaz da te promene ne poništavaju naš zaključak o višeslojnom multiverzumu, iako zakoni mogu da budu drugačiji.

Može li prostor da bude konačan? Svakako. To je definitivno moguće. Ako je prostor konačan, ali dovoljno veliki, u njemu bi moglo da bude nekoliko zanimljivih komada kosmičkog pokrivača. No, u omalenom, konačnom kosmosu vrlo lako bi moglo nedostajati adekvatnog prostora u koji bi se smestio značajan broj različitih takvih komada, a kamoli onih koji bi bili kopije našeg. Konačan kosmos može da na najuverljiviji način obrne višeslojni multiverzum.

U nekoliko proteklih decenija fizičari koji rade na tome da teoriju Velikog praska pomere do samog nultog trenutka – u potrazi za dubljim razumevanjem porekla i prirode Lemetrovog primordijalnog atoma – razvili su pristup koji se naziva *inflatorna kosmologija*. U inflatornom teorijskom okviru argument kojim se podržava beskonačno veliki kosmos ne samo da pridobija jaku teorijsku i opservacijsku podršku, nego se, što ćemo videti u sledećem poglavlju, nameće kao gotovo neizbežna činjenica.

Štaviše, inflacija će progurati u prvi plan još egzotičniju varijantu paralelnih svetova.