

DRUGO POGLAVLJE

Paradoksalni svemir

Da sam prisustvovao stvaranju, dao bih par korisnih predloga za bolju uređenost kosmosa.

– Alfonso Mudri

Do đavola sa Sunčevim sistemom! Osvetljenost loša, planete predaleko, komete gnjave, majstorluk slab, sam bih napravio bolji svemir!

– lord Džefri

UKOMADU *Kako vam drago*, Šekspir je napisao besmrtne reči:

*Pa ceo svet je glumište gde ljudi
I žene glume, svaki ima tu
Izlazak svoj i odlazak.**

Tokom Srednjeg veka, svet je odista bio pozornica, ali mala, statična, takva da ju je činila samo majušna, ravna Zemlje oko koje su se nebeska tela kretala nedokučivo u svojim savršenim nebeskim orbitama. Komete su, smatralo se, najavljivale smrt kraljeva. Kada je Velika kometa 1066. godine proletela nebom iznad Engleske, preplašila je saksonske vojnike kralja Harolda koje je neposredno posle toga porazila nadiruća, pobjednička vojska Viljema Osvajača, udarivši temelje moderne Engleske.

* *Kako vam drago* (Čin II, Scena 7), *Celokupna dela Viljema Šekspira* (BIGZ, Narodna knjiga, Nolit, Rad), 1978, u prevodu Borivoja Nedića i Velimira Živojinovića.

Ista ta kometa opet je preletela preko Engleske 1682, nanovo izazvavši stravu i strah u čitavoj Evropi. Činilo se da su svi, od seljaka do kraljeva, bili opčinjeni ovim neočekivanim posetiocem koji je prohujao nebesima. Odakle je došla ta kometa? Kuda je išla i šta je njena pojava značila?

Kometa je toliko zaintrigirala izvesnog imućnog gospodina, Edmunda Haleja, astronoma amatera, da je zatražio mišljenje jednog od najvećih naučnika tog doba, Isaka Njutna. Kada je zapitao Njutna koje bi to sile mogle da kontrolišu kometu, Njutn je mirno odgovorio da se kometa kreće po elipsi zbog zakona obrnutog kvadrata (odnosno, zato što sila koja deluje na kometu opada s kvadratom udaljenosti od Sunca). Njutn je objasnio da je, prateći kretanje komete teleskopom koji je sam izumeo (reflektujući teleskop koga danas koriste astronomi širom sveta), utvrdio kako je njena putanja u skladu sa zakonom gravitacije koji je definisao dvadeset godina ranije.

Halej je u neverici zapitao: „Kako znate?“ Njutn je odgovorio: „Izračunao sam“. Halej ni u najluđim snovima nije mogao pretpostaviti kako će saznati da se tajna nebeskih tela, koja je zbunjivala čovečanstvo otkad su se prvi ljudi zagledali u nebesa, može objasniti novim zakonom gravitacije.

Impresioniran ovim otkrićem od golemog značaja, Halej je velikuodušno ponudio da plati da se ta nova teorija objavi. Godine 1687, uz Halejevu podršku i finansiranje, Njutn je objavio svoj monumentalni rad *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Matematički principi prirodne filozofije*). To delo smatra se jednim od najvažnijih ikad objavljenih tekstova. Jednim potezom, naučnici koji nisu znali za najveće zakone Sunčevog sistema najednom su stekli mogućnost da predviđaju kretanje nebeskih tela sa izuzetnom preciznošću.

Uticao je na salonima i dvorovima Evrope bio je toliko veliki, da je pesnik Aleksandar Pop napisao:

*Priroda i zakoni njeni u noći behu skriveni,
Bog reče: Nek bude Njutn!, i sve svetlost bi.*

(Halej je shvatio da je moguće izračunati kada bi kometa mogla ponovo da se pojavi nad Londonom ako je orbita komete elipsa. Pretražujući stare zapise, otkrio je da su komete iz 1531, 1607, i 1682. godine zaista jedna te ista kometa. Kometa koja je imala tako presudan uticaj na stvaranje moderne Engleske 1666. godine viđana je kroz čitavu zabeleženu istoriju, a među onima koji su je videli bio je i Julije Cezar. Halej je predvideo da

će se kometa vratiti 1758, mnogo vremena posle njegove i Njutnove smrti. Kada se kometa zaista ponovo pojavila na Božić te godine, nazvana je Halejeva kometa.)

Njutn je otkrio univerzalni zakon gravitacije dvadeset godina ranije, kada je Kembrički univerzitet bio zatvoren zbog kuge, te je bio primoran da se povuče na svoje imanje u Vulstorpu. U dragom sećanju ostao mu je trenutak kada je, tokom šetnje po imanju, video jabuku kako pada. Postavio je sebi jednostavno pitanje koje će izmeniti tok istorije: ako jabuka pada, da li i Mesec pada? U blistavom trenutku spoznaje kakva se javlja samo geniju, Njutn je shvatio da se jabuka, Mesec i planete pokoravaju istom zakonu gravitacije, da pripadaju istom svetu zakona obrnutog kvadrata. Kada je utvrdio da je matematika sedamnaestog veka previše primitivna da bi definisala taj zakon sile, izmislio je novu granu matematike, difirencijalni račun, kako bi odredio kretanje jabuka i meseca koji padaju.

U delu *Principia*, Njutn je zapisao i zakone mehanike, zakone kretanja koji određuju putanje svih zemaljskih i nebeskih tela. Ovi zakoni postavili su osnovu za konstrukciju mašina, upotrebu snage pare i proizvodnju lokomotiva, koji su utrli put Industrijskoj revoluciji i modernoj civilizaciji. Danas se svaki neboder, most i raketa grade pomoću Njutnovih zakona kretanja.

Osim što nam je dao večne zakone kretanja, Njutn je preokrenuo naše viđenje sveta, ponudivši drastično drugačiju sliku kosmosa u kome su tajnoviti zakoni kojima se vode nebeska tela identični zakonima što upravljaju Zemljom. Nad pozornicom života nisu se više nadvijali užasavajući nebeski predznaci; zakoni koji su važili za glumce, upravljali su i scenom.

BENTLIJEV PARADOKS

Principia je bilo ambiciozno delo koje je pobudilo prve uznemirujuće paradokse u vezi sa strukturom svemira. Ako je svet pozornica, koliko je velika? Da li je beskonačna ili konačna? To je drevno pitanje koje je zaoкупljalo čak i rimskog filozofa Lukrecija. „Kosmos nije ograničen ni u jednom smeru“, pisao je. „Da jeste, morao bi negde da ima granicu. Ali jasno je da stvari ne mogu da imaju granicu sem ako ih nešto spolja ne ograničava... U svakoj dimenziji, na ovoj ili onoj strani, nagore ili nadole, kroz čitav svemir, kraja nema.“

Ali Njutnova teorija je otkrila i paradokse koji prate svaku teoriju o konačnom ili beskonačnom kosmosu. Najjednostavnija pitanja vode do mora kontradikcija. Čak je i Njutn, u svoj slavi koja ga je pratila po objavljivanju dela *Principia*, otkrio da njegova teorija gravitacije krije nerešive paradokse. Godine 1692. duhovnik, Ričard Bentli, napisao je Njutnu jednostavno, ali ubedljivo pismo. Bentli je u pismu zapazio sledeće: ako je gravitacija uvek privlačna, a nikada odbojna, svaki skup zvezda bi se prirodno urušio u sebe. Kada bi kosmos bio konačan, noćno nebo bi, umesto večno i statično, bilo poprište neverovatnog pokolja u kome bi zvezde išle jedna na drugu stapajući se u vatrenu superzvezdu. Ali Bentli je istakao i ovo: ako je vasiona beskonačna, onda bi i sila koja deluje na svaki objekat, gurajući ga nalevo ili nadesno, bila beskonačna, te bi i zvezde morale da se kidaju na komadiće u ognjenim kataklizmama.

Isprva se činilo da je Bentli doskočio Njutnu. Kosmos je bio konačan (urušen u vatrenu loptu) ili beskonačan (te su sve zvezde morale biti raznesene). Obe mogućnosti bile su kobne po novu teoriju koju je Njutn definisao. Ovaj problem je otkrio delikatne paradokse svojstvene svakoj teoriji gravitacije primenjenoj na čitav svemir.

Pažljivo razmislivši, Njutn je odgovorio Bentliju. Napisao je da je otkrio rupu u njegovom rasuđivanju. Miliji mu je bio beskonačan svemir, ali samo ako je potpuno ujednačen. Ako zvezdu nadesno gura sila od beskonačno mnogo zvezda, to delovanje poništava jednaka, suprotno usmerena sila takođe od beskonačno mnogo zvezda. Sve sile u svim smerovima se međusobno potiru stvarajući statičnu vasionu. Dakle, ako je gravitacija uvek privlačna, jedino rešenje Bentlijevog paradoksa je uniforman, beskonačan svemir.

Njutn je zaista našao slabu tačku Bentlijevog rasuđivanja. Ali bio je dovoljno pametan da uvidi slabost svog odgovora. Priznao je u pismu da je njegovo rešenje, iako tehnički ispravno, bilo nepopravljivo nestabilno. Njutnov ujednačen ali beskonačan svemir bio je poput kule od karata: izgled stabilan, ali sklon urušavanju pri najmanjem remećenju. Moguće je računski pokazati da će blago gurkanje makar ijedne zvezde izazvati lančanu reakciju i grupacije zvezda će odmah početi da se urušavaju. Njutново neubedljivo rešenje bilo je pozivanje na „božansku moć“ koja sprečava da se sruši njegova kula od karata. Napisao je: „Neophodno je čudo bez prestanka ne bi li se sprečilo da se Sunce i popravljene zvezde spoje pod uticajem gravitacije.“

Za Njutna je svemir bio poput golemog časovnika koji otkucava otkad ga je Bog navio na početku vremena, radeći u skladu s njegova tri zakona

kretanja bez božanske intervencije. Ali povremeno je čak i Bog morao da umeša prste i malo dotera svemir kako bi sprečio da se ne uruši. (Drugim rečima, Bog mora tu i tamo da interveniše da se kulise na pozornici života ne bi srušile na glumce.)

OLBERSOV PARADOKS

Pored Bentlijevog paradoksa, postojao je još dublji paradoks u srcu svake teorije o beskonačnom svemiru. Olbersov paradoks počinje pitanjem zašto je noćno nebo crno. Još u vreme Johana Keplera astronomima je postalo jasno da bismo, ako je svemir ujednačen i beskonačan, videli svetlost od beskonačno mnogo zvezda gde god da pogledamo. Ako se zagledamo u bilo koju tačku na noćnom nebu, pogled bi nam izvesno bio usmeren u neprobrojeno mnogo zvezda, te bi presretao beskonačnu količinu svetlosti zvezda. To znači da bi noćno nebo moralo da plamti! Činjenica da je noćno nebo crno, a ne belo, vekovima je bio suptilan, ali dubok kosmički paradoks.

Olbersov paradoks je poput Bentlijevog obmanjujuće jednostavan, i mučio je mnoge generacije filozofa i astronoma. Oba paradoksa se javljaju usled zapažanja da bi se u beskonačnom svemiru, sabiranjem gravitacionih sila i svetlosnih zraka dobijale besmislene, beskonačno velike vrednosti. Tokom vekova nuđeni su brojni netačni odgovori. Keplera je taj paradoks toliko uznemiravao pa je naprosto postulirao da je kosmos konačan, omeđen ljušturom, te samo konačna količina svetlosti može dopreti do naših očiju.

Ovaj paradoks izazivao je takvu zabunu, da je, prema istraživanju iz 1987. godine, čak 70 posto udžbenika iz astronomije navodilo netačan odgovor.

Odgovor koji bi se isprva nametnuo kao rešenje Olbersovog paradoksa jeste da oblaci prašine apsorbuju svetlost zvezda. To objašnjenje dao je sam Hajnrih Vilhelm Olbers 1823. godine kada je prvi put jasno opisao paradoks. Olbers je napisao: „Na Zemlju srećom ne dospeva svetlost zvezda iz svakog kutka nebeskog svoda! Ipak, s takvom nepojmljivom svetlinom i toplotom, do 90.000 puta intenzivnijim nego što doživljavamo, Svemogući je lako mogao da napravi organizme koji su u stanju da se prilagode takvim ekstremnim uslovima.“ Olbers je zaključio kako mora biti da oblaci prašine apsorbuju tako intenzivnu toplotu sprečavajući da se Zemlja kupa „u okruženju žarkom poput sunčevog diska“ i omogućavajući

život na Zemlji. Na primer, užareno jezgro naše galaksije Mlečni put, koje bi po svim pravilima trebalo da dominira noćnim nebom, zapravo je skriveno iza oblaka prašine. Pogledamo li u smeru sazvežđa Strelca, gde se nalazi centar Mlečnog puta, vidimo tamu a ne žarku vatrenu loptu.

Ali Olbersov paradoks se ne može suštinski objasniti oblacima prašine. Tokom beskonačno dugo vremena, oblaci prašine apsorbiraju svetlost od beskonačno mnogo zvezda i u nekom trenutku zablistaju poput površine zvezde. Dakle, čak bi i oblaci prašine morali da blešte na noćnom nebu.

Slično tome, možda bi neko mogao da pretpostavi kako zvezda na većoj udaljenosti slabije svetli. To je tačno, ali ne može biti rešenje paradoksa. Pogledamo li u neko parče noćnog neba, videćemo da su vrlo udaljene zvezde zaista blede, ali što dalje gledate, više je zvezda. Ova dva efekta bi se potrla u uniformnom svemiru, te bi noćno nebo bilo belo. (Razlog je to što intenzitet zvezdane svetlosti opada s kvadratom rastojanja, što potire činjenica da broj zvezda raste s kvadratom rastojanja.)

Zanimljivo je da je ovaj paradoks prvi razrešio američki pisac misterija, Edgar Allan Poe, koji se godinama interesovao za astronomiju. Neposredno pred smrt, objavio je mnoga svoja zapažanja u vidu nepovezane, filozofske pesme *Eureka: Pisma u prozi*. U jednom izvanrednom pasusu, napisao je:

Kada bi se zvezde nizale bez kraja, pozadina neba predočavala bi nam se ravnomerno osvetljena, kao što je u Galaksiji – *jer u čitavoj toj pozadini ne bi moglo biti nijedne tačke u kojoj ne bi bilo zvezde*. Zato, s takvim stanjem stvari, jedino objašnjenje zašto vidimo praznine koje naši teleskopi nalaze u nebrojeno mnogo pravaca dobijamo ako pretpostavimo da je udaljenost od nevidljive pozadine toliko golema da nijedan zrak odatle još uvek nije uspeo da stigne do nas.

Završio je zapažanjem da je ideja „odviše lepa da ne bi u svojoj srži skrivala Istinu“.

To je ključ tačnog odgovora. Kosmos nije beskrajno star. Nastao je jednog trenutka. Svetlost koja dopire do naših očiju ima granica. Još uvek nije prošlo dovoljno vremena da bi svetlost najudaljenijih zvezda doprla do nas. Kosmolog Edvard Harison koji je prvi ukazao na to da je Poe rešio Olbersov paradoks, napisao je: „Kada sam pročitao Poove reči, zapanjio sam se: kako je pesnik, ne više od naučnika amatera, došao da ispravnog objašnjenja pre sto četrdeset godina, dok se na našim fakultetima još uvek predaje pogrešan odgovor?“

Godine 1901. škotski fizičar lord Kelvin takođe je došao do tačnog odgovora. Uvideo je da se noćno nebo vidi onakvo kakvo je bilo u prošlosti, ne kakvo je sada, jer je brzina svetlosti, iako ogromna po zemaljskim merilima (trista hiljada kilometara u sekundi), ipak konačna, i svetlosti udaljenih zvezda potrebno je izvesno vreme da dođe do Zemlje. Po Kelvinovim proračunima, da bi noćno nebo bilo belo kosmos bi morao da se prostire stotinama biliona svetlosnih godina. Ali kako od početka svemira nisu prošli bilioni godina, noćno nebo je neizbežno crno. (Postoji i dodatni razlog zašto je noćno nebo crno – konačan životni vek zvezda koji se meri milijardama godina.)

Nedavno je postalo moguće eksperimentalno potvrditi ispravnost Pooovog objašnjenja, pomoću satelita kakav je svemirski teleskop Habl. Ovi moćni teleskopi nam omogućavaju da odgovorimo na pitanja koje čak i deca postavljaju: gde je najudaljenija zvezda; šta je iza nje? Tragajući za odgovorom na ova pitanja, astronomi su programirali teleskop Habl da ispuni istorijski zadatak: da napravi snimak najudaljenije tačke u svemiru. Registrovanje izuzetno slabog zračenja iz najudaljenijih uglova vasiona iziskivalo je dotad neviđeni poduhvat: teleskop je morao da precizno cilja u jednu tačku na nebu blizu sazvežđa Orion više stotina sati. Za to je bilo neophodno da teleskop bude u savršenoj liniji tokom četiri stotine orbita Zemlje. Projekat je bio izuzetno težak pa je morao da se razvuče na četiri meseca.

Godine 2004, zadivljujuća fotografija osvanula je na naslovnim stranama i u udarnim vestima medija širom sveta. Prikazivala je skup deset hiljada novorođenih galaksija kako zgusnute nastaju iz haosa Velikog praska. „Možda smo videli kraj početka“, objavio je Anton Kekemer iz Naučnog instituta svemirskog teleskopa (Space Telescope Science Institute). Na fotografiji se vidi masa bleđih galaksija udaljenih preko 13 milijardi svetlosnih godina od Zemlje — odnosno, njihovoj svetlosti je potrebno 13 milijardi godina da dođe do Zemlje. Kako je svemir star samo 13,7 milijardi godina, te galaksije su se formirale otprilike pola milijarde godina po stvaranju kosmosa, kada su prve zvezde i galaksije počele da se kondenzuju u „supi“ gasova preostalih od Velikog praska. „Habl nas vodi tamo dokle je dobio sam Veliki prasak“, rekao je astronom Masimo Stivaveli iz Instituta.

Ali, to nas navodi da se zapitamo šta je iza najudaljenijih galaksija? Na ovoj izuzetnoj fotografiji, upadljivo je da je između galaksija samo crnilo. Zbog tog crnila, noćno nebo je crno. To je krajnja granica za svetlost udaljenih zvezda. Međutim, to crnilo je zapravo pozadinsko mikrotalasno

zračenje. Dakle, konačan odgovor na pitanje zašto je noćno nebo crno glasi: noćno nebo uopšte nije crno. (Kada bi naše oči mogle da vide mikrotalasno zračenje, a ne samo vidljivu svetlost, videli bismo kako se noćno nebo kupa u zračenju nastalom samim Velikim praskom. Na neki način, zračenje od Velikog praska javlja se svake noći. Kada bi naše oči mogle da registruju mikrotalasno zračenje, bili bismo u stanju da vidimo da nas iza najudaljenije zvezde čeka samo postanje.)

AJNŠTAJN BUNTOVNIK

Njutnovi zakoni su bili toliko uspešni da je nauci za naredni sudbosnosni korak, Ajnštajnova otkrića, bilo potrebno preko dvesta godina. Ajnštajn je karijeru započeo kao najneubedljiviji kandidat za takvog revolucionara. Pošto je završio osnovne studije na Politehničkom institutu u Cirihi u Švajcarskoj 1900. godine, našao se u beznadežnoj situaciji kao novopečeni zaposlenik. Karijeru su mu ometali njegovi profesori kojima se nije sviđao taj bezobrazan, drzak student koji je često propuštao predavanja. Njegova opravdavajuća, tužna pisma svedoče o dubini njegovog očaja. Sebe je smatrao neuspehom i bolnim finansijskim teretom za roditelje. U jednom pismu punom gorčine, priznao je da je čak razmišljao o samoubistvu: „Za nesreću mojih sirotih roditelja koji već godinama nisu doživeli trenutak sreće, najveći sam krivac... Ja sam samo teret mojim rođacima... Nema sumnje, bolje bi bilo da nisam živ“, tužno je napisao.

Očajan, razmišljao je da promeni profesiju i da se zaposli u osiguravajućoj kompaniji. Počeo je čak da drži privatne časove deci, ali posvađao se s poslodavcem i dobio otkaz. Kada je njegova devojka, Mileva Marić, neplanirano zatrudnela, uvideo je tužnu činjenicu da će se njegovo dete roditi kao vanbračno jer nije imao sredstava da se venča s njom. (Nije poznato šta se na kraju desilo s njegovom vanbračnom ćerkom, Lizerl.) Dubok, lični šok koji je osetio kada mu je otac iznenada umro ostavio je emotivni ožiljak koji nikada nije potpuno zarastao. Ajnštajnov otac je umro uveren da mu je sin promašen slučaj.

Iako je period 1901–1902 bio možda najgori u Ajnštajnovom životu, karijeru mu je spasila preporuka kolege sa studija, Marsela Grosmana, koji je povukao neke veze i obezbedio mu posao nižeg činovnika u Zavodu za patente u Bernu.

PARADOKSI RELATIVNOSTI

Na prvi pogled, Zavod za patente nije mesto s kog bi potekla najveća revolucija u fizici još od Njutna. Ali, imao je svojih prednosti. Pošto je za kratko vreme uspevao da obradi prijave za patente što su se gomilale na njegovom stolu, Ajnštajn bi se zavalio u stolicu i vraćao maštanjima koja ga nisu napuštala još od malena. Ajnštajn je u mladosti pročitao knjigu Arona Bernštajna *Narodni priručnik iz prirodne nauke*, delo koje je po sopstvenom priznanju naprosto progutao. Bernštajn je pozivao čitaoca da zamisli kako juri sa strujom koja prolazi kroz telegrafsku žicu. Ajnštajn je sebi, sa svojih šesnaest godina, postavio slično pitanje: kako bi izgledao svetlosni zrak ako biste mogli da ga sustignete? Prisećao se: „Takav princip proizašao je iz paradoksa na koji sam naišao već kao šesnaestogodišnjak: ako jurim za zrakom svetlosti brzinom c (brzina svetlosti u vakuumu), trebalo bi da ga vidim kao elektromagnetno polje oscilatorno u prostoru koje miruje. Međutim, izgleda da takve stvari nema, sudeći po iskustvu ili Maksvelovim jednačinama.“ Ako bismo mogli da se trkamo rame uz rame sa svetlosnim zrakom, mislio je mladi Ajnštajn, trebalo bi da nam se čini da je zamrznut, poput talasa koji se ne kreće. Ali, niko nikada nije video zamrznutu svetlost, te se u Ajnštajnovom rasuđivanju morala kriti strašna greška.

Na prelazu iz devetnaestog u dvadeseti vek, fizika je počivala na dva veličanstvena stuba: Njutnovoj teoriji mehanike i gravitacije i na Maksvelovoj teoriji svetlosti. Šezdesetih godina devetnaestog veka, škotski fizičar Džejms Klerk Maksvel pokazao je da se svetlost sastoji od vibrirajućeg električnog i magnetnog polja koja neprestano prelaze jedno u drugo. Ajnštajn je, na svoje zaprepašćenje, otkrio da su ova dva stuba međusobno suprotstavljena i da je jedan od njih morao pasti.

U okviru Maksvelovih jednačina našao je rešenje zagonetke koja ga je proganjala deset godina. Otkrio je nešto što je i Maksvelu promaklo: Maksvelove jednačine pokazivale su da se svetlost kreće konstantnom brzinom, koliko god brzo se vi kretali pokušavajući da je sustignete. Brzina svetlosti c bila je ista u svim inercijalnim referentnim sistemima (odnosno, referentnim sistemima koji se kreću konstantnom brzinom). Bilo da mirujete, putujete vozom ili sedite na kometi koja ubrzava, svetlosni zrak videćete kako hita ispred vas istom brzinom. Koliko god brzo se kretali, nikada ne biste mogli da prestignete svetlost.

To je pokrenulo lavinu paradoksa. Zamislite na trenutak astronauta kako pokušava da dostigne svetlosni zrak. U svojoj raketi, astronaut daje

gas dok ne sustigne svetlost. Posmatrač na Zemlji koji prati ovu hipotetičnu trku rekao bi da se astronaut i svetlosni zrak kreću rame uz rame. Međutim, astronaut bi bio potpuno drugačijeg mišljenja: po njemu, svetlosni zrak ga je prešišao, baš kao da njegova raketa miruje.

Pitanje s kojim se Ajnštajn suočavao bilo je kako dvoje ljudi mogu da na toliko različit način tumače isti događaj? U Njutnovoj teoriji, svetlost se uvek mogla sustići, dok je u Ajnštajnovom svetu to bilo nemoguće. Sinulo mu je da se u samoj osnovi fizike krije fundamentalna greška. Ajnštajn se prisećao kako mu je u proleće 1905. godine „besnela oluja u glavi“. Jednim potezom napokon je došao do rešenja: *vreme teče različito, zavisno od toga koliko brzo se krećete*. Zapravo, što se brže krećete, vreme sporije otkucava. Vreme nije apsolutno kako je Njutn nekad mislio. Prema Njutnu, vreme teče ravnomerno u čitavom svemiru, tako da je jedna sekunda na Zemlji identična sekundi na Jupiteru ili Marsu. Satovi otkucavaju u apsolutnoj sinhronizaciji u celoj vasioni. Međutim, Ajnštajn je uvideo da satovi u različitim delovima svemira otkucavaju različitim brzinama.

Tako je zaključio: ukoliko bi vreme moglo da se menja u zavisnosti od brzine, onda bi i drugi parametri kao što su dužina, materija i energija morali da se menjaju. Što se brže krećete, utvrdio je Ajnštajn, više se sažimaju rastojanja (što se ponekad naziva Lorenc-Ficdžeraldova kontrakcija). Takođe, teži ste kad se brži. (Zapravo, kako se budete primicali brzini svetlosti, vreme bi se usporavalo dok ne bi stalo, dužine bi se sažimale do nule, a masa bi vam postala beskonačno velika, što je apsurdno. To je razlog zašto ne možete probiti barijeru brzine svetlosti koja predstavlja krajnju graničnu brzinu u svemiru.)

To čudno izobličenje prostorvremena navelo je jednog pesnika da napiše sledeće stihove:

*Beše momče po imenu Fisk
na maču brz bez sankcije
toliko hitre beše akcije,
da Ficdžeraldove kontrakcije
svedoše njegov rapir na disk.*

Na isti način na koji je Njutново otkriće objedinilo zemaľjsku i nebesku fiziku, Ajnštajn je objedinio prostor i vreme. Ali pokazao je i da su materija i energija objedinjeni te zato mogu da prelaze jedno u drugo. Ako objekat postaje teži što se brže kreće, to znači da se energija kretanja

transformiše u materiju. Važi i obrnuto, odnosno da se materija može pretvoriti u energiju. Ajnštajn je izračunao koliko energije bi se pretvorilo u materiju i došao do jednačine $E = mc^2$ koja pokazuje da se čak i majušna količina materije m množi ogromnim brojem (kvadratom brzine svetlosti) prilikom pretvaranja u energiju E . Tako se pokazalo da je tajni izvor energije zvezda bila konverzija materije u energiju, na način predstavljen ovom jednačinom, koja je zaslužna za svetlost svemira. Tajnu zvezda može rešiti jednostavan iskaz: brzina svetlosti ista je u svim inercijalnim referentnim sistemima.

Poput Njutna pre njega, Ajnštajn je promenio naše viđenje pozornice života. U Njutnovom svetu, svi učesnici su znali tačno koje je vreme i kako da se izmere dužine. Protok vremena i dimenzije pozornice nikada se nisu promenili. Ali, relativnost nam nudi čudan način poimanja prostora i vremena. U Ajnštajnovom svemiru, svi učesnici imaju ručne satove koji pokazuju različita vremena. To znači da je nemoguće sinhronizovati sve satove na pozornici. Ako se proba zakaže u podne, to neće imati isto značenje za sve glumce. Zapravo, čudne stvari se dešavaju kada učesnici počnu da jure po sceni. Što se brže kreću, satovi im sporije otkucavaju, a tela im postaju teža i spljoštenija.

Proći će godine pre nego što su naučnici u većem broju prihvatili Ajnštajново otkriće. Ali, Ajnštajn se nije zaustavio, već je hteo da svoju novu teoriju relativnosti primeni na gravitaciju. Ajnštajn je uviđao težinu tog zadatka: oponiraće najuspešnijoj teoriji svog vremena. Maks Plank, jedan od utemeljivača kvantne teorije, upozorio ga je: "Kao stariji prijatelj, moram da te posavetuje da ne radiš to, jer, pre svega, nećeš uspeti, a čak i ako uspeš, niko ti neće verovati."

Ajnštajn je shvatao da je njegova nova teorija relativnosti narušavala njutnovsku teoriju gravitacije. Prema Njutnu, gravitacija se trenutno rasprostire svemirom. Ali to je upućivalo na pitanje koje čak i deca ponekad postavljaju: „Šta bi se desilo kad bi Sunce nestalo?“ Po Njutnu, informacija o nestanku Sunca doprla bi u isto vreme do svih mesta u svemiru. Ali, prema specijalnoj relativnosti, to je nemoguće, pošto je informacija o nestanku zvezde ograničena brzinom svetlosti. Po ovoj teoriji, iznenadni nestanak Sunca pokrenuo bi sferični udarni talas gravitacije koji bi se širio brzinom svetlosti. Izvan talasa, posmatrač bi zaključivao da Sunce i dalje sija, pošto gravitacija nije imala vremena da stigne do njih. Ali posmatrač unutar talasa bi rekao da je Sunce nestalo. Da bi rešio ovaj problem, Ajnštajn je morao da uvede potpuno drugačiju sliku prostora i vremena.

SILA KAO ZAKRIVLJENJE SVEMIRA

Njutn je prostor i vreme video kao ogromnu, praznu pozornicu na kojoj se događaji dešavaju u skladu s njegovim zakonima kretanja. Pozornica je obilovala čudima i misterijom, ali bila je u suštini neaktivna i nepokretna, pasivni svedok plesa prirode. Međutim, Ajnštajn je ovu ideju potpuno preokrenuo. Zaključio je da je sama pozornica važan deo života. U Ajnštajnovom svemiru, prostor i vreme nisu bili statično poprište dešavanja kako je Njutn pretpostavio, već dinamično okruženje koje se savija i krivi na čudne načine. Zamislite da umesto pozornice života imamo trambulinu na čijoj mreži akteri blago tonu pod sopstvenom težinom. Takva scena postaje važna kao i sami akteri.

Zamislite kuglu za kuglanje postavljenu na krevet kako lagano tone u dušek. Ispalite sada kliker na zakrivljenu površinu dušeka – kretaće se po orbiti oko kugle. Njutnov sledbenik bi, videvši iz daljine kako kliker kruži oko kugle, zaključio da postoji tajnovita sila kojom kugla deluje na kliker. Možda bi zaključio da se kliker kreće ka centru zbog privlačne sile kugle s trenutnim dejstvom.

Relativisti, koji kretanje klikera po krevetu može da prati izbliza, jasno je da nikakve sile nema. Postoji samo udubljenje u krevetu usled kog se kliker kreće po krivoj liniji. On zna da nema privlačne sile, već samo odbojne sile kojom udubljeni krevet deluje na kliker. Zamenite kliker Zemljom, kuglu Suncem, a krevet praznim prostorvremenom, i videćete da se Zemlja okreće oko Sunca ne zbog gravitacionog privlačenja, već zato što Sunce zakrivljuje prostor oko Zemlje stvarajući privlačenje zbog kog Zemlja mora da se kreće kružno.

Dakle, Ajnštajn je došao na ideju da je gravitacija pre nalik tkanju umesto nevidljivoj sili s trenutnim dejstvom u čitavom svemiru. Ako se tkanje naglo protrese, formiraju se talasi koji se prostiru po površini konačnom brzinom. To rešava paradoks Sunca koje nestaje. Ako je gravitacija sporedna posledica krivljenja tkanja prostorvremena, onda se nestanak Sunca može uporediti sa iznenadnim podizanjem kugle s kreveta. Kako se krevet vraća u početni oblik, talasi se kreću po čaršavu konačnom brzinom. Tako je Ajnštajn, svodeći gravitaciju na savijanje prostora i vremena, uspeo da pomiri gravitaciju i relativnost.

Zamislite mrava kako prelazi preko zgužvanog lista papira. Hodaće kao pijani mornar, teturajući se nalevo i nadesno, pokušavajući da savlada naboranu podlogu. Mrav će se žaliti kako nije pijan, već da ga misteriozna sila ljulja nalevo i nadesno. Za mrava, prazan prostor pun je tajanstvenih

sila koje ga sprečavaju da se kreće pravolinijski. Međutim, pogledamo li ga izbliza, vidimo da nikakve sile nema, već da ga odguruju prevoji zgužvanog lista papira. Sile koje deluju na mrava su iluzija usled zakrivljenja prostora. „Privlačenje“ silom je zapravo „odbijanje“ do kog dolazi dok mrav hoda preko prevoja papira. Drugim rečima, ne privlači gravitacija, već prostor odbija.

Do 1915. godine, Ajnštajn je napokon uspeo da dovrši ono što je nazvao opšta teorija relativnosti i ona je postala arhitektura po kojoj se danas zasniva čitava kosmologija. U ovoj zadivljujućoj novoj slici, gravitacija nije bila nezavisna sila koja ispunjava svemir, već posledica savijanja prostora i vremena. Njegova teorija bila je toliko moćna da je mogla da se predstavi jednačinom dugačkom tek koji centimetar. U ovoj briljantnoj novoj teoriji, stepen zakrivljenja prostora i vremena određivala je količina prisutne materije i energije. Zamislite da ste hitnuli kamen u baru – od mesta udara krenuće da se prenosi niz nabora. Što je veći kamen, namreškanija će biti površina bare. Slično tome, što je veća zvezda, zakrivljenje prostorvremena oko nje biće intenzivnije.

ROĐENJE KOSMOLOGIJE

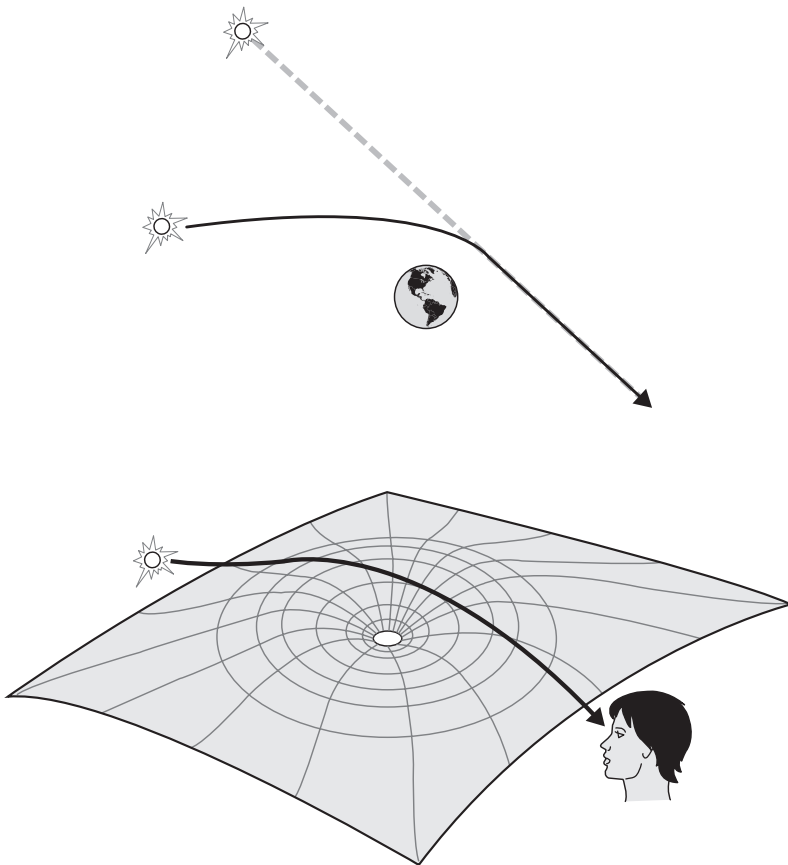
Ajnštajn je pokušao da pomoću ove slike opiše svemir u celini. Nije slutio da će morati da se suoči s Bentlijevim paradoksom formulisanim vekovima ranije. Dvadesetih godina prošlog veka, većina astronoma verovala je da je svemir jednoobrazan i statičan. Zato je Ajnštajn krenuo od pretpostavke da je kosmos ravnomerno ispunjen prašinama i zvezdama. Po jednom modelu, svemir se mogao uporediti s velikim balonom ili mehustom. Živimo na površini mehura. Zvezde i galaksije koje vidimo oko nas mogu se uporediti sa tačkicama nacrtanim na površini balona.

Na svoje iznenađenje, kad god je pokušao da reši svoje jednačine, otkrio bi da je svemir postao dinamičan. Pred Ajnštajnom je bio isti problem s kojim se Bentli suočio više od dvesta godina ranije. Pošto je gravitacija uvek privlačna, a nikada odbojna, konačan skup zvezda trebalo bi da se uruši u sebe u vatrenoj kataklizmi. Međutim, to se kosilo sa prevlađujućom slikom s početka dvadesetog veka, po kojoj je svemir bio statičan i uniforman.

Ma koliko revolucionaran bio, Ajnštajn nije mogao da veruje da bi kosmos mogao biti u pokretu. Poput Njutna i mnogih drugih, Ajnštajn je verovao u statičan svemir. Zato 1917. godine nije imao drugog izbora

do da u svoje jednačine uvede novi faktor za „nameštanje rezultata“, „antigravitacionu“ silu koja je razdvajala zvezde. Ajnštajn je to nazvao „kosmološka konstanta“. Bilo je to ružno pače koje se činilo kao naknadna zakrpa Ajnštajnovne teorije.

Ajnštajn je potom proizvoljno upotrebio antigravitaciju da poništi gravitaciono prevlačenje, stvorivši tako statični svemir. Drugim rečima, kosmosu je naređeno da bude statičan: kontrakcije ka unutra usled gravitacije poništene su delovanjem ka spolja tamne energije. (Tokom sedamdeset godina ovu antigravitacionu silu smatrali su otpadnikom, sve do otkrića iz proteklih par godina.)



Godine 1919, dve grupe su potvrdile Ajnštajnovu predviđanje da se svetlost sa udaljene zvezde krivi prolazeći kraj Sunca. Dakle, izgledalo bi kao da se zvezda pomerala sa svoje normalne pozicije u prisustvu Sunca. Razlog je to što Sunce krivi prostor vreme oko njega. Gravitacija zato ne privlači, već odbija.

Godine 1917, holandski fizičar Vilem de Siter došao je do drugog rešenja Ajnštajnovе teorije po kome je svemir bio beskonačan, ali potpuno lišen bilo kakve materije – tačnije, sastojao se samo od energije vakuuma, kosmološke konstante. Ova čista antigravitaciona sila bila je dovoljna da pokreće munjevito, eksponencijalno širenje svemira. Čak i bez materije, ta tamna energija mogla je da stvori kosmos koji se širi.

Fizičari su sada bili u dilemi. Svemir je imao materiju, ali bio je nepokretan. De Siterova vasiona bila je u pokretu, ali bez materije. U Ajnštajnovom kosmosu, kosmološka konstanta bila je neophodna da bi poništila gravitaciono privlačenje i stvorila statičan svemir. U De Siterovom svemiru, kosmološka konstanta je bila dovoljna da stvori kosmos koji se širi.

Na kraju, godine 1919, kada je Evropa pokušavala da se povrati od uništavanja i krvoprolića Prvog svetskog rata, ekipe astronoma širom sveta proveravale su valjanost nove Ajnštajnovе teorije. Ajnštajn je još ranije izneo hipotezu kako je zakrivljenost prostorvremena u okolini Sunca dovoljna da savije svetlosne zrake koji prolaze kraj njega. Svetlost zvezda trebalo bi da se savija oko Sunca precizno i u izračunljivoj meri, nalik savijanju svetlosti pri prolasku kroz čašu. Ali kako Sunce preko dana blešti dovoljno da nadjača svetlost svake druge zvezde, naučnici bi morali da čekaju na pomračenje Sunca ne bi li izveli eksperiment sa definitivnim rezultatima.

Grupa koju je predvodio britanski astrofizičar Artur Edington otplovila je u Gvinejski zaliv na obali zapadne Afrike kako bi snimila krivljenje svetlosti zvezda kraj Sunca prilikom pomračenja Sunca. Druga ekipa na čelu sa Endruom Kromlinom je otplovila za Sobral u severnom Brazilu. Podaci koje su prikupili ukazivali su na prosečno odstupanje zvezdane svetlosti od 1,79 lučnih sekundi, što je potvrdilo Ajnštajnovо predviđanje od 1,74 lučnih sekundi (u granicama eksperimentalne greške). Drugim rečima, svetlost se zaista savijala u blizini Sunca. Edington je kasnije govorio kako je potvrda Ajnštajnovе teorije bila najblistaviji trenutak njegovog života.

Šestog novembra 1919, na sastanku Kraljevskog društva i Kraljevskog astronomskog društva u Londonu, Dž. Dž. Tompson, nobelovac i predsednik Kraljevskog društva, svečano je izjavio da je to „jedno od najvećih dostignuća u istoriji ljudske misli. Nije to otkriće nekog zabačenog ostrva, već čitavog kontinenta novih naučnih ideja. Reč je o najvećem otkriću u vezi s gravitacijom još otkad je Njutn objavio svoje principe“.

(Legenda kaže da je kasnije jedan novinar rekao Edingtonu: „Priča se da samo troje ljudi na čitavom svetu razume Ajnštajnovу teoriju. Vi ste

sigurno jedan od njih.“ Edington je ćutao, te je novinar dodao: „Ne budite skromni, Edingtone.“ Edington je slegnuo ramenima i odgovorio: „Nisam nimalo, samo sam se pitalo ko bi mogao biti treći.“) Sledećeg dana, na naslovnoj strani časopisa *London Times* osvanulo je: „Revolucija u nauci – Nova teorija svemira – Njutnove ideje opovrgnute.“ Naslov je označio trenutak kada je Ajnštajn postao svetski poznat, izaslanik zvezda.

Toliko veličanstvena bila je ta objava i tako radikalno je bilo Ajnštajnovu razilaženje s Njutnom, da su pobudili negativne reakcije među uglednim fizičarima i astronomima koji su osporili teoriju. Na Univerzitetu Kolumbija, Čarls Lejn Por, profesor nebeske mehanike, prednjačio je u kritici relativnosti, govoreći: „Osećam se kao da sam lutao sa Alisom po Zemlji ćuda i da sam pio ćaj s Ludim Šeširdžijom.“

Relativnost se kosi s našim zdravim razumom ne zato što je pogrešna, već zato što naš zdrav razum ne predstavlja realnost. Mi smo nepravilnost u kosmosu. Naseljavamo neobićnu parcelu na kojoj su temperature, gustine i brzine prilićno umereni. Međutim, temperature u „pravom kosmosu“ mogu biti pakleno visoke u centrima zvezda, ili otupljujuće niske u spoljnom svemiru, a uobijaćene brzine subatomskih ćestica što hitaju kroz kosmos blizu su brzine svetlosti. Drugim rećima, naš zdrav razum razvio se u veoma neobićnom, ćudnom delu svemira, na Zemlji, te ne ćudi što ne uspevamo uvreženom logikom da sagledamo svemir u pravim bojama. Problem nije u relativnosti, već u pretpostavci da naš zdrav razum odraćava stvarnost.

BUDUĆNOST VASIONE

Iako je Ajnštajnova teorija uspešno objašnjavala fenomene poput savijanja svetlosti oko Sunca i blagog odstupanja u orbiti planete Merkur, njena kosmološka predvićanja i dalje su bila zbudujuća. Stvari je prilićno razjasnio ruski fizićar Aleksandar Fridman koji je otkrio najopšćija i najrealistićnija rešenja Ajnštajnovih jednaćina. Ćak i danas se predaju na svakom kursu o opšćoj relativnosti na osnovnim studijama. (Fridman ih je otkrio 1922, ali umro je tri godine kasnije i njegov rad je godinama bio zaboravljen.)

Ajnštajnova teorija se inaće sastoji od niza izuzetno teških jednaćina koje se ćesto ne mogu rešiti bez raćunara. Međutim, Fridman je pretpostavio da je kosmos dinamićan, a potom je usvojio dve pojednostavljene

pretpostavke (zване kosmološki princip): da je univerzum izotropan (izgleda isto kuda god gledali iz date pozicije) i homogen (uniforman je gde god se našli u svemiru).

Uz te dve pojednostavljene pretpostavke, ove jednačine prestaju da važe. (Zapravo, i Ajnštajnovi i De Sitterovo rešenje bili su posebni slučajevi Fridmanovog opštijeg rešenja.) Zavidljivo je da su Fridmanova rešenja zavisila od samo tri parametra:

1. H , koji određuje stopu širenja svemira. (Danas se naziva Hablova konstanta po astronomu koji je uspeo da izmeri stepen širenja svemira.)
2. Ω , koji određuje prosečnu gustinu materije u svemiru.
3. Λ , energija pridružena praznom prostoru – takozvana tamna energija.

Mnogi kosmolozi su tokom čitave svoje karijere pokušavali da pronađu tačne vrednosti ova tri broja. Istančana povezanost između ove tri konstante određuje budući razvoj cele vasionne. Na primer, kako je gravitacija privlačna, gustina Ω svemira ponaša se poput neke vrste kočnice, čija svrha je širenje svemira, obrtanje toka nekih efekata stope širenja iniciranog Velikim praskom. Zamislite kako ste hitnuli kamen u vazduh. Uobičajeno je da je gravitacija dovoljno jaka da obrne smer kretanja kamena koji će pasti natrag na zemlju. Međutim, ako biste kamen bacili dovoljno brzo, on bi izbegao Zemljinoj gravitaciji i vinuo bi se u svemir za sva vremena. Poput kamena, kosmos se izvorno širio zbog Velikog praska, ali materija, odnosno Ω , ponaša se kao kočnica za ekspanziju kosmosa na isti način na koji Zemljina gravitacija koči kamen.

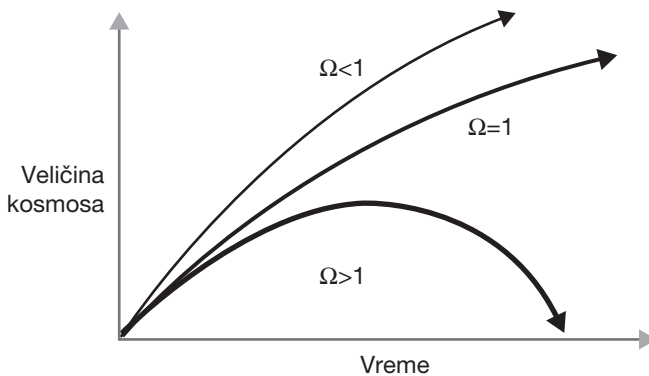
Pretpostavimo, na trenutak, da Λ , energija pridružena praznom prostoru, iznosi nula. Neka Ω bude gustina kosmosa podeljena kritičnom gustinom. (Kritična gustina svemira je približno 10 atoma vodonika po metru kubnom. Da biste shvatili koliko je svemir prazan, reći ću samo da kritična gustina svemira odgovara meri od jednog atoma vodonika u zapremini tri košarkaške lopte.)

Kada bi vrednost Ω bila manja od 1, naučnici zaključuju kako u kosmosu ne bi bilo dovoljno materije da obrne smer izvornog širenja usled Velikog praska. (Analogno tome, da masa Zemlje nije dovoljno velika, kamen bi u nekom trenutku napustio Zemlju.) Usled toga svemir bi nastao da se širi zauvek, dospevši na kraju u stanje Velikog zamrzavanja kada

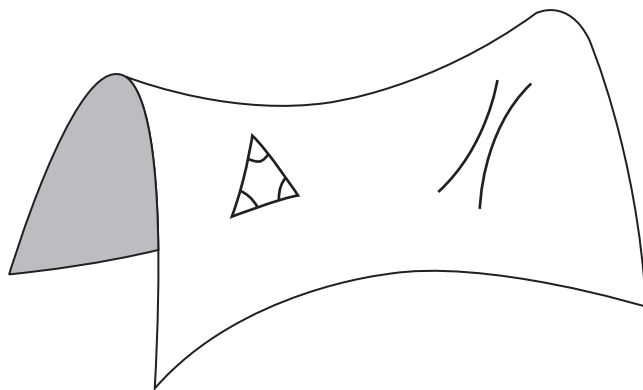
se temperature budu približile apsolutnoj nuli. (To je princip rada frižidera ili klima-uređaja. Šireći se, gas se hladi. Na primer, gas u klima-uređaju se, cirkulišući u cevi, širi, hladeći cev i prostoriju.)

Kada bi vrednost Omega bila veća od 1, bilo bi dovoljno materije i gravitacije u kosmosu da preokrenu smer kosmičkog širenja. Posledica bi bilo obustavljanje širenja posle čega bi svemir počeo da se sažima. (Analogno kamenu bačenom u vazduh koji bi, u slučaju da je masa Zemlje dovoljno velika, dostigao maksimalnu visinu, a potom počeo da pada ka zemlji.) Temperature bi počele da rastu unedogled dok bi zvezde i galaksije hitale jedne ka drugima. (Ako ste ikada pumpali gumu bicikla, znate da kompresija gasa stvara toplotu. Mehanički rad upumpavanja vazduha konvertuje se u toplotnu energiju. Na isti način, kompresija svemira konvertuje gravitacionu energiju u toplotnu.) Na kraju bi temperature postale toliko visoke da bi sav život bio istrebljen, dok bi svemir neizbežno morao da doživi vatreno Veliko sažimanje. (Astronom Ken Krosvel ovaj proces opisuje kao put „od kreacije do kremacije“.)

Treća mogućnost je da Omega iznosi tačno 1, odnosno gustina svemira jednaka je kritičnoj gustini. U tom slučaju, svemir je između dva



Evolucija svemira ima tri moguće istorije. Ako je Omega manje od 1 (a Lambda je 0), svemir će se neprestano širiti sve do Velikog smrzavanja. Ukoliko je Omega veće od 1, kosmos će se urušiti u Velikom sažimanju. Ako je Omega jednako 1, kosmos je ravan i širiće se zauvek. (Rezultati dobijeni od satelita WMAP pokazuju da zbir Omega i Lambda iznosi 1, što znači da je kosmos ravan. Ovo je u saglasnosti sa inflatornom teorijom.)



Kada bi Omega bilo manje od 1 (a Lambda jednako 0), svemir bi bio otvoren, a njegova zakrivljenost negativna, kao da ima oblik sedla. Paralelne linije nikada se ne bi presecale, a zbir unutrašnjih uglova trougla bio bi manji od 180 stepeni.

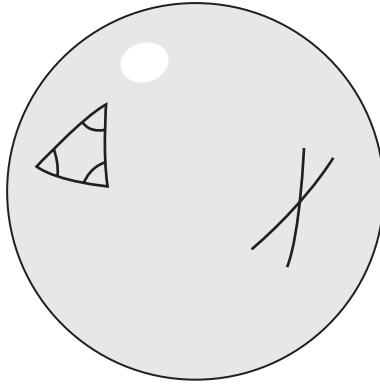
ekstrema, ali i dalje će se širiti zauvek. (Videćemo da ovaj scenario najviše odgovara inflatornoj predstavi.)

Na kraju, postoji mogućnost da će se svemir posle Velikog sažimanja povratiti u novom Velikom prasku. Ova teorija opisuje takozvani oscilirajući svemir.

Fridman je pokazao da svaki od ovih scenarija određuje zakrivljenost prostorvremena. Pokazao je sledeće: ako je Omega manje od 1, i svemir se neprestano širi, beskonačni su i vreme i prostor. Za takav svemir kaže se da je otvoren, odnosno beskonačan je i u prostoru i u vremenu. Kada je Fridman izračunao zakrivljenost ovakvog kosmosa, otkrio je da je negativna. (Zakrivljenost ovakvog svemira je kao kod sedla ili trube. Kada bi na takvoj površini živela buba, otkrila bi da se paralelne linije nikada ne seku i da je zbir unutrašnjih uglova u trouglu manji od 180 stepeni.)

Ako je Omega veće od 1, nikada neće doći do Velikog sažimanja. Vreme i svemir su konačni. Fridman je utvrdio da je zakrivljenost ovog kosmosa pozitivna (kao kod sfere). Na kraju, ako je Omega jednako 1, prostor je ravan, a ni vreme ni prostor nemaju granice.

Fridman je ne samo postavio prvi sveobuhvatni pristup Ajnštajnovim kosmološkim konstantama, već je dao i najrealnije pretpostavke o Sudnjem danu, konačnom kraju svemira, odnosno o tome da li će kosmos nestati u Velikom smrzavanju, izgoreti u Velikom sažimanju ili će zauvek



Sa Omega veće od 1, imali bismo zatvoreni svemir sa pozitivnom zakrivljenošću, nalik sferi. Paralelne linije uvek će se presecati, a zbir uglova trougla je veći od 180 stepeni.

oscilovati. Odgovor zavisi od presudnih parametara: gustine svemira i energije vakuuma.

Ali Fridmanova predstava ostavila je prazninu koju valja popuniti. Ako se kosmos širi, to znači da je možda imao početak. Ajnštajnova teorija ništa ne kaže o trenutku ovog početka. Ono što je nedostajalo bio je trenutak stvaranja, Veliki prasak. A tri naučnika će nam dati najubedljiviju predstavu Velikog praska.