

FIZIKA MULTIVERZUMA

Ideja o postojanju velikog broja svemira danas je više od fantastične zamisli. Ona se prirodno pojavljuje u nekim našim fizikalnim teorijama i zaslužuje da se uzme za ozbiljno, objašnjava Aurélien Barrau iz Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie (Université Joseph Fourier (Grenoble) & Centre national de la recherche scientifique (CNRS-IN2P3)).¹

Je li cijeli naš svemir samo maleni otok unutar beskonačno velikog i beskrajno raznolikog meta-svijeta (multiverzuma)? Ova bi ideja mogla označiti ili jedan od najvažnijih preokreta u povijesti kozmologije ili veliku zabludu koja odražava naše nedostatan razumijevanja najosnovnijih zakona fizike.

Ideja je sama po sebi daleko od toga da bude nešto novo - od Anaksimandra do Davida Lewisa, filozofi su iscrpno razmatrali ovu mogućnost. No ono što je posebno zanimljivo jest da se ona danas pojavljuje posve prirodno iz nekih od naših najsofisticiranijih, ali često i najspekulativnijih fizikalnih teorija. Možemo reći da multiverzum više nije model, nego da je posljedica naših modela. Ovaj koncept, kako se čini, omogućava razumijevanje neobičnosti fizikalnog stanja kakvo zatičemo u našem svemiru. Rješenja ovoga problema pomoću koncepta multiverzuma vrlo je atraktivno i čini se vjerodostojnim, no zahtijeva da se iznova duboko promisle osnove suvremene fizike.

Na se prvi pogled izgleda da se koncepcija multiverzuma nalazi izvan područja znanstvene teorije jer se jedna takva stvar ne može promatrati, odnosno proučavati. U skladu s postavkama Karla Poppera, postavlja se naime pitanje - Kako je moguće utvrditi ispravnost određene teorije ako je nemoguće provjeriti njezina predviđanja? Međutim, ovakav način razmišljanje u slučaju teorije multiverzuma nije ispravan iz nekoliko razloga. Kao prvo, moguće je predvidjeti određene aspekte "ponašanja" multiverzuma - pritom doduše dobivamo samo statističke rezultate, no to isto vrijedi i za fizikalne teorije koje se odnose na naš univerzum tj. svemir (razlog tomu su fundamentalne kvantne fluktuacije, kao i nepreciznosti naših mjerenja). Kao drugo, nikad nije bilo potrebno provjeriti baš sva predviđanja teorije da bismo je smatrali legitimnim dijelom znanosti. Opća relativnost, primjerice, detaljno je testirana u vidljivom svijetu, pa zbog toga smatramo prihvatljivim koristiti je, recimo, i za razmatranje zbivanja unutar crnih rupa, iako je nemoguće otići tamo i provjeriti naša predviđanja. Konačno, Popperov kritički racionalizam nije posljednja riječ u filozofiji znanosti.

Sociolozi, estetičari i epistemolozi su pokazali da treba razmatrati drugačije kriteriji razgraničenja znanstvenih teorija od onih neznanstvenih. Povijest nas uči da definicija znanosti može doći samo iz znanosti same, odnosno iz "prakse" - s obzirom da nema aktivnog područja intelektualnog stvaranja gdje bi neko striktno razgraničenje ove vrste moglo biti nametnuto izvana. Ako znanstvenici uvide potrebu za promjenu okvira svoga vlastitog područja istraživanja, teško će biti opravdati filozofske razloge koji bi ih sprečavali da to i učine. Slično je i s umjetnošću - gotovo sve umjetničke inovacije 20-tog stoljeća nadilaze definiciju umjetnosti koju su postavili estetičari 19. stoljeća. Baš kao što je slučaj sa znanostima i znanstvenicima, umjetnost se definira "interno", od strane umjetnika samih.

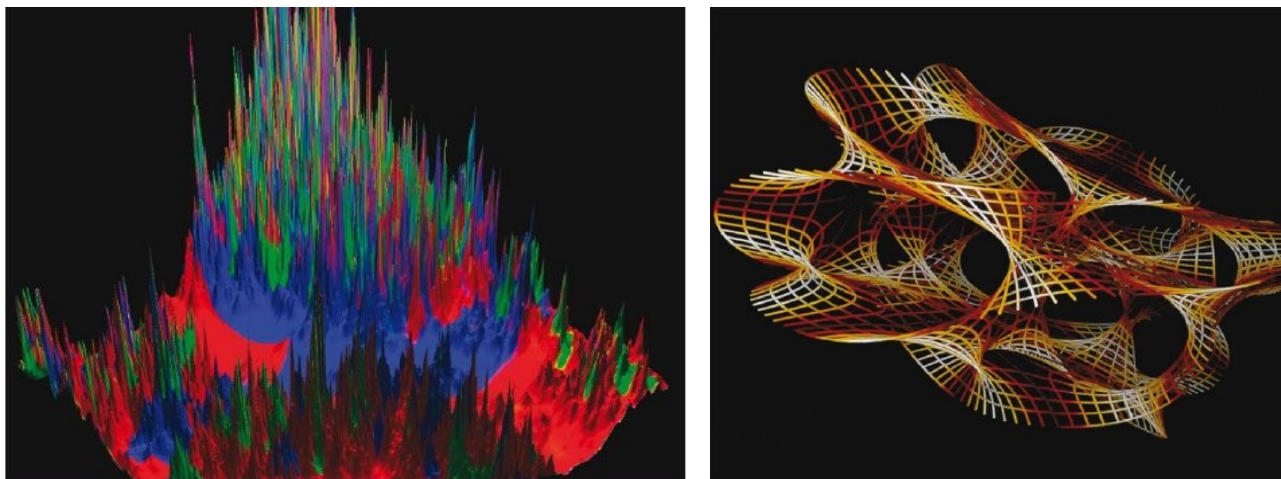
Iz svih tih razloga, vrijedi ozbiljno razmatrati mogućnost da živimo u multiverzumu. To bi moglo omogućiti razumijevanje dvaju problema kompleksnosti i prirodnosti našega vlastitog univerzuma tj. svijeta koji opažamo oko sebe. Činjenica da se zakoni fizike i konstante vezanja pokazuju veoma fino "podešenima", upravo na način da omogućuje pojavu "života", te da osnovne veličine poprimaju vrlo "nevjerojatne" vrijednosti, lako se može objasniti unutar slike po kojoj je naš univerzum samo sićušan dio nezamislivo velikoga multiverzuma u čijim različitim dijelovima vrijede različiti fizikalni zakoni. U tom bi se slučaju moglo reći kako živimo u jednoj od privilegiranih regija u "antropskom smislu". Ovaj "antropski izbor" ima inače striktno teleološku, ali ne i teološku dimenziju, tj. ne postoji nikakva veza s bilo kakvom vrstom "inteligentnog dizajna". To nije ništa više od prirodne generalizacije "principa selekcije", koji treba uzeti u obzir i pri proučavanju našeg vlastitog svemira. Kad razmatramo jedan primjerak iz nekog mnoštva, nemoguće je izbjeći pitanje reprezentira on dobro ostale primjerke i ovo se pitanje, dakako, mora postaviti pri razmatranju našeg univerzuma unutar multiverzuma.

Treba naglasiti da multiverzuma nije jednostavno pretpostavka teorijskih razmatranja. On se, dapače, pojavljuje kao posljedica nekih naših teorija koje predviđaju i određene pojave koje se mogu utvrditi unutar našeg vlastitog svemira. Postoji mnogo vrsta mogućih multiverzuma, ovisno o teorijama u okviru kojih se pojavljuju, a neki od njih se čak možda međusobno "isprepleću".

Najelementarnije multiverzume predstavljaju beskonačni prostori koji predviđa opća teorija relativnosti,

1 Članak francuskog fizičara Auréliena Barraua objavljen je u časopisu "CERN Courier" za prosinac 2007.

barem za ravnu ili hiperboličnu geometriju. Beskonačan broj Hubbleovih svemira trebao bi ispunjavati ovaj meta-svijet. U takvoj situaciji, sve što je moguće da se dogodi (tj. sve što je u skladu sa zakonima fizike koje danas poznajemo) trebalo bi se i događati. To je tako jer se svaki događaj čija vjerojatnost nije jednaka nuli, mora odvijati negdje u prostoru koji je beskonačan. Struktura zakona fizike i vrijednosti fundamentalnih konstanti ne mogu se doduše objasniti preko koncepta multiverzuma, ali mnoge specifične okolnosti mogu se shvatiti pomoću principa "antropske selekcije". Neka su mjesta, primjerice, manje homogena od našeg Hubbleovog volumena, pa zbog toga predstavljaju mnogo manje prijateljska mjesta za život nego što je ovo naše, gdje su primordijalne fluktuacije savršeno prilagođene zahtjevima stvaranja osnove "viših struktura".



Sl.1 Lijevo - Kompjuterska simulacija samoreproducirajućeg svemira (različitim bojama označena su područja s različitim fizikalnim zakonima, vrhovi predstavljaju nove "Big Bangove" čije visine odgovaraju gustoćama energije). Desno - 3D projekcija četverodimenzionalne Calabi-Yau-ove mnogostrukosti što opisuje geometriju dodatnih (internih) dimenzija prostora u M-teorijama i vezana je uz jedan scenario multiverzuma sa strunama.

Opća teorija relativnosti također suočava sa problemom multiverzuma i to vezano uz pitanja fizike crnih jama. Maksimalno analitičko produljenje Schwarzschildove geometrije ("geometrija" u okolini masivnog sferno-simetričnog tijela kakvo je crna jama, koju dobivamo iz jednadžbi opće relativnosti), kao što se vidi iz konformnog Penrose-Carterovom dijagrama, pokazuje da se iz unutrašnjosti crne jame može vidjeti drugi svemir. Ovaj zanimljivi rezultat, kao što znamo, iščezava ako (gravitacijski) kolaps razmatramo dinamički. No, situacija je puno interesantnija u slučaju električki nabijenih ili rotirajućih crnih jama, gdje se u konformnom dijagramu pojavljuje beskonačan broj svemira s privlačnom ili odbojnom gravitacijskom silom. Crvotočine koje vjerojatno povezuju ove svemire izuzetno su nestabilne, ali to ne mijenja činjenicu da ovo rješenje ukazuje na druge svemire (odnosno druge dijelove našeg vlastitog svemira, što ovisi o topologiji), bez obzira jesu li oni pristupačni ili nisu. Ovakav multiverzum je, međutim, iznimno spekulativna kategorija, i mogao bi biti jednostavno "matematički fantom" (posljedica matematičkog formalizma koja nema veze s "fizikom"). Nadalje, ništa nam ovdje ne omogućava da razumijemo kako je on nastao.

Puno zanimljiviji pluriverzum povezan je s razmatranjem unutrašnjosti crnih jama kad uzmemo u obzir kvantne korekcije opće teorije relativnosti, zahvaljujući kojima umjesto (klasičnih) singulariteta, u većini pristupa kvantnoj gravitaciji imamo vibracije (kvantne fluktuacije). Njihova je posljedica postojanje ekspanzirajućeg područja prostor-vremena unutar crne jame koje se može smatrati (drugim) univerzumom. U ovom modelu, i naš bi svemir mogao biti kreiran u ovakvom procesu i također imati velik broj nasljednih (child) svemira, zahvaljujući mnoštvu stelarnih i supermasivnih crnih jama koje ovdje postoje. Na ovaj način moglo bi doći do neke vrste kozmološke prirodne selekcije gdje bi zakoni fizike imaju tendenciju da maksimiziraju broj crnih jama (samo zato što ovakvi univerzumi generiraju više nasljednih univerzuma iste vrste). To također omogućava neka testiranja, temeljena na promatranju, koja bi mogli opovrgnuti teoriju i koji se ne oslanjaju se na korištenje bilo kakvih antropskih argumenata. Međutim, nije jasno kako bi se fizikalne konstante mogle nasljeđivati od svemira-roditelja s malim slučajnim varijacijama, pa danas ne postoji detaljan model pridružen ovome scenariju.

Jedan od najbogatijih modela multiverzuma povezan je s fascinirajućim spojem inflatorne kozmologije i teorije struna. U jednu ruku, vječna inflacije može objasniti uvođenjem masivnog skalarnog polja. Polje bi imalo kvantne fluktuacije, koje će u polovici područja, povećati njegov iznos, dok će ga u drugoj polovici smanjiti. U polovici gdje je polje jače, dodatna gustoća energije uzrokovat će bržu ekspanziju univerzuma,

nego u polovici gdje je polje slabije. Nakon nekog vremena, više od polovice područja imalo bi višu vrijednost polja upravo zato što ono ekspandira brže od onog drugog područja. Vrijednost polja usrednjena po volumenu prema tome raste i uvijek postoje područja gdje je polje jače - pa tako inflacija postaje vječna. Područja u kojima vrijednost polja kroz fluktuaciju pada, odvojiti će se od stabla na kojemu se događa vječna inflacija i "izaći iz inflacije".

S druge strane, teorija struna se nedavno suočila s trećom promjenom paradigme. Nakon revolucije sa supersimetrijom i dualitetom, sada imamo "krajolik" (landscape). Ova metaforička riječ odnosi se na velik broj (možda i 10^{500}) mogućih "lažnih vakuuma" u teoriji. Poznati zakoni fizike sada bi odgovarali određenom otoku među mnogim drugima. Veliki broj mogućnosti proizlazi iz različitih izbora Calabi-Yau-ove mnogostrukosti i različitih vrijednosti generaliziranog magnetskog toka kroz različite homološke cikle. Među ostalim enigmama, posebno zanimljiva nevjerojatno neobična vrijednost kozmološke konstante (zašto prvih 119 decimala "prirodne" vrijednosti točno kompenzira neki misteriozni fenomen, ali ne i 120.?) jednostavno bi se objasnila antropskim efektom selekcija unutar multiverzuma u kojemu je skoro svaka moguća vrijednost (fizikalne konstante) negdje realizirana. Na ovome stupnju, svaki mjehurić-univerzum pridružen je jednoj realizaciji zakona fizike i sadrži u sebi beskonačan prostor u kojemu svi kontingentni fenomeni negdje ostvaruju. Pošto su mjehurići kauzalno odvojeni zauvijek (zbog brzog stvaranja prostora kroz inflaciju), ne bi bilo moguće tamo putovati i otkrivati nove zakone fizike.

Ako je ovaj model multiverzuma istinit, on bi doveo do suštinskih promjena u našem dubinskom razumijevanju fizike. Zakoni bi se ovdje pojavljivali kao jedna kao vrsta fenomena, ontološka primarnost našeg svemira bi morala biti napuštena. Na drugim mjestima u multiverzumu, postojali bi drugi zakoni, druge konstante, drugi brojevi dimenzija, naš svijet bio bi samo mali primjerak. To bi moglo biti, slijedeći Kopernika, Darwina i Freuda, predstavljati četvrtu ozljedu našeg narcizma.

Kvantna mehanika je vjerojatno bil među prvim granama fizike u kojoj se došlo do ideje o multiverzumu. U nekim situacijama, ona neminovno predviđa pojavu superpozicije. A da bi se izbjegla mogućnost postojanje makroskopske Schrödingerove mačke koja je istovremeno i živa i mrtva, Bohr je uveo je princip redukcije (tj. korespondencije). Ovaj princip ima dvije važne posljedice - kao prvo dovodi do iznimno zamršene filozofske interpretacije u kojoj korespondencija matematike koja stoji u podtekstu fizikalne teorije i realnog svijeta više nije izomorfna (najmanje ne u bilo kojem vremenskom trenutku), a kao drugo, on narušava unitarnost. Takvo što se ne pojavljuje niti u jednom fizikalnom fenomenu, čak ni pri evaporaciji crnih jama, kako ju opisuje moderna teorije. To su dobri razlozi za ozbiljno razmatranje interpretacije pomoću koncepta mnogobrojnih svjetova koji je uveo Hugh Everett. Svakom mogućem ishodu svakog događaja ovdje se "dozvoljava" da postoji je da postoji u svojoj vlastitoj povijesti ili univerzumu, i to putem kvantne dekoherencije - umjesto da se podrazumjeva "kolaps valne funkcije". Drugim riječima, postoji svijet u kojemu je mačka je mrtva, i jedan drugi u kojemu je živa. To je jednostavno način da striktno vjerujemo u osnovne jednadžbe kvantne mehanike. Svijetovi nisu prostorno razdvojeni, nego postoje više kao vrste "paralelnih" univerzuma. Ovo uzbudljivo tumačenje rješava neke paradokse kvantne mehanike, ali ostaje nejasno kako se može utvrditi trenutak kad dolazi do radvajanja svemira. Ovaj multiverzum je složen i, ovisno prvenstveno o kvantnoj prirodi fenomena koji dovode do drugih vrsta multiverzuma, mogao bi dovoditi do viših ili nižih razina raznolikosti.

U većoj mjeri spekulativne multiverzume možemo zamisliti vezano uz neku vrstu platonske matematičke demokracije ili nominalističkog relativizma. U svakom slučaju, važno je naglasiti da multiverzum nije hipoteza postavljena da bi se odgovorilo na neko konkretno pitanje. To je jednostavnoposljedica teorije koje se obično izgrađuje za druge svrhe. Zanimljivo, radi se o posljedici kroz koju se rješavaju mnogi problemi složenosti i "prirodnosti". U većini slučajeva čak se čini kako je ideja o postojanju mnogih svjetova kompatibilnija Ockhamovoj oštrici (principu jednostavnosti), nego *ad hoc* pretpostavke koje se moraju dodati našim modelima kako bi se izbjegla pojava drugih univerzuma.

Da li je za dani model, primjerice za paradigmu string-inflacija, moguće činiti predikcije koje se odnose na multiverzum? U principu je moguće, najmanje u Bayesianском pristupu. Vjerojatnost opažanja vakuuma i (i pridruženih zakona fizike), jednostavno je $P_i = P_i^{prior} f_i$, gdje je P_i^{prior} određeno geografijom krajolika teorije struna i dinamikom vječne inflacije, a faktor selekcije f_i karakterizira šansu da promatrač evoluirao do vakuuma i . Ova raspodjela daje vjerojatnost da se neki slučajno odabrani promatrač nađe u danom vakuumu. Jasno, sva su ova predviđanja probabilistička, no tako je i u standardnoj fizici. Činjenica da možemo opažati smo jedan "primjerak" univerzuma (naš vlastiti) kvalitativno ne mijenja metodu, te i dalje omogućava odbacivanje modela na danoj razini pouzdanosti. Glavne točke ovdje predstavljaju dobro poznate neobične osobine kozmologije, čak i slučaju samo jednog univerzuma - promatrač je smješten unutar opisanog sustava, početni uvjeti su kritični, eksperiment je "lokalno" ireproducibilan, energije koje se javljaju nisu eksperimentalno ispitivane na Zemlji, strijela vremena mora konceptualno biti obrnuta.

Međutim, statistički pristup testiranju koncepta multiverzuma pati od ozbiljnih tehničkih poteškoća. Prva leži u tome što premda izgleda prirodno identificirati početnu vjerojatnost dijelom volumena koji zauzima dani

vakuum, rezultat osjetno ovisi o izboru prostorne (space-like) hiperplohe za koju treba izračunati distribuciju vjerojatnosti. To je takozvani "problem mjere" u multiverzumu. Druga je vezana uz nemogućnost da se pronađe ikakva smisljena procjena za f_i . To bi zahtijevalo od nas da shvatimo što život u stvari jest, pa čak što više i što je zapravo svjesnost - pa zbog toga taj problem ostaje izvan naših spoznajnih mogućnosti.

Osim u nekim posebnim slučajevima - primjerice kad svi univerzumi u multiverzumu posjeduju karakteristike koje su inkompatibilne našem univerzumu - teško je izravno oboriti model multiverzuma. Ali teškoće u nekoj praktičnom poduhvatu ne znače da je ostvarenje njegovog cilja suštinski nemoguće. Model multiverzuma ostaje unutar okvira Popperianske znanosti i on se kvalitativno ne razlikuje od drugih zamisli koje nastaju pri uobičajenom načinu bavljenja fizikom. Jasno, novi matematički alati i daleko točnija predviđanja unutar "krajolika" (landscapea, koji je u suštini posve nepoznat) potrebni su da falsifiabilnosti (mogućnost dokazivanja da je nešto krivo) postane i nešto više od apstraktnog principa u ovom kontekstu. Osim toga, falsifiabilnost je samo jedan kriterij uz mnoge druge moguće i ona vjerojatno ne bi trebala biti prekomjerno determinirana.

Kad se suočavamo s pitanjem o nevjerojatnom finom podešavanju potrebnom da fundamentalni parametri fizike omogućili pojavu kompleksnih struktura u svemiru u kojemu oni vrijede, postoje dva smjera mišljenja. Ako ne želimo računati na Božju pomoć ili vjerovati u našu nevjerojatnu sreću, ostaju nam samo još dvije moguće hipoteze. Prema prvoj, kompleksnost, a osobito život, adaptivan je priroces, pa bi se mogla pojaviti u bilo kakvom univerzumu. Drugo rješenje je da prihvatimo ideju postojanja mnogih svemira s različitim prirodnim zakonima, pa da smo se, po prirodi stvari našli u onome koji je kompatibilan svojstvu kompleksnosti. Multiverzum nije zamišljen da bi se odgovorilo na ovo specifično pitanje, nego se pojavio "spontano" u ozbiljnim fizikalnim teorijama, tako da ga možemo smatrati najjednostavnijim objašnjenjem zagonetnog svojstva "prirodnosti". To, jasno, ne dokazuje da je model korektan, no treba naglasiti da se na ovaj način možemo osloboditi onoga "predkopernikanskog" antropocentrizma u našem misaonom procesu.

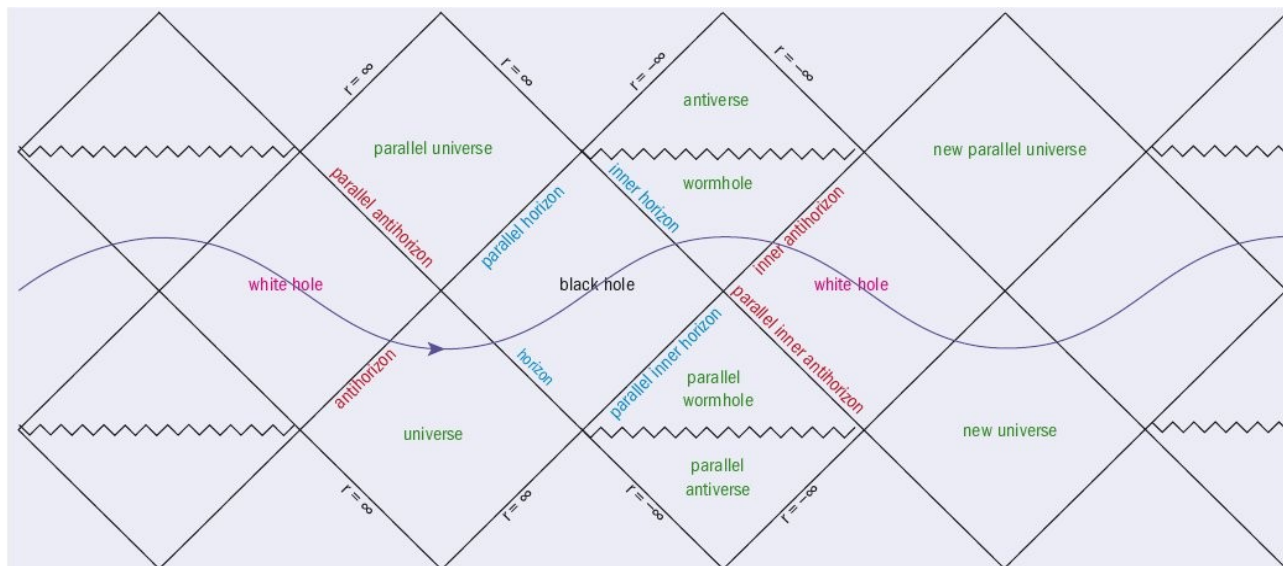
Lako bi se moglo pokazati da je ideja o mnogobrojnim svemirima promašena. Moguće je da će otkriće nekih dubljih zakona fizike u godinama koje dolaze učiniti ovu ideju posve suvišnom. Možda kroz ovu ideju znanost silazi s "pravog puta". Treba sačuvati razboritost kad govorimo o nevidljivim i nedostupnim prostorima u fizici. No, lako se može pokazati da se upravo nalazimo pred dubokom promjenom paradigme koja će predstavljati revolucionarnu promjenu u našem shvaćenju svijeta i otvoriti nova polja znanstvene misli. Pošto se radi o granicama znanosti, ovi su modeli "opasni", no oni nude izvanredne mogućnosti za interferenciju s drugim vrstama ljudskog znanja. Multiverzum predstavlja riskantnu ideju, no ne treba zaboravljati kako je otkrivanje novih svjetova oduvijek bilo riskantan posao.

Literatura za dalje čitanje:

B Carr ed. (2007.) - Universe or Multiverse? Cambridge University Press, vidi priloge Weinberga, Wilzceka, Reesa, Tegmarka, Lindea, Bjorkena i Muhanova

L Smolin (2006.) - The Trouble With Physics: the Rise of String Theory, the Fall of Science, and What Comes Next. Houghton Mifflin Company

L Susskind (2005.) - The Cosmic Landscape. Little, Brown and Company



Sl.2 - Penrose-Carterov dijagram za Kerr-Newmanovu crnu jamu koji ukazuje na postojanje drugih svemira