
Ciklički Svemir

Petar Pavlović

Marko Sossich

Ciklički Svemir

=====*Petar Pavlović¹, Marko Sossich^{1,2}*=====

¹ *Institut za kozmologiju i filozofiju prirode,*

² *Zavod za primijenjenu fiziku, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva*

petar.pavlovic@icpn.hr, marko.sossich@icpn.hr

Sažetak

U ovome radu dajemo pregled ideje o cikličkom Svemiru iz fizikalne i filozofske perspektive, kao i njezin sažeti povijesni prikaz. U prvom poglavlju temi cikličkog Svemira pristupamo iz perspektive aktualnih konceptualnih problema fizikalne kozmologije. Argumentiramo kako je program cikličkog Svemira logična alternativa koja je u svojim pretpostavkama u stanju da nađi probleme i ograničenja pretpostavke o Svemiru koji je nastao, te je kao takav u potpunosti u suglasnosti sa svim dosadašnjim opažanjima. Polazeći od ovih razmatranja, ideju cikličkog Svemira promatramo zatim i u kontekstu povezanih filozofskih pitanja. Nakon toga, u drugom poglavlju donosimo kratki pregled povijesti cikličkog Svemira u razvoju mitološkog i filozofskog mišljenja. Drugi dio ovog rada, koji čine treće i četvrto poglavlje, pruža diskusiju o istraživanju cikličkog Svemira korištenjem fizikalnih metoda, dajući pregled povezanih temeljnih matematičkih i tehničkih detalja te prikazujući neke nedavne vlastite rezultate autora, usmjerene prema općenitom modeliranju cikličkog Svemira. Konačno, rad završavamo diskusijom o problemu entropije u cikličkom Svemiru.

1 Statički Svemir, Veliki prasak i ciklički Svemir u suvremenoj fizici

Mogli bi reći da je najviša točka dosadašnjeg razvoja prirodnih znanosti dosegnuta već u samoj mogućnosti da se u okviru fizike otvori pitanje o postanku svega što jest. Navedeno pitanje postanka Svemira po svojoj vlastitoj prirodi predstavlja čvorište u kojemu se sastaju fizika i metafizika, odnosno empirijske znanosti i filozofija – i time zapravo već mogućnost njegovog postavljanja u ovome povijesnom trenutku potvrđuje potrebu nužne sinteze spekulativnog i empirijskog mišljenja. Istovremeno, treba sasvim iskreno priznati kako se naše razumijevanje ovog pitanja iz perspektive fizikalnih metoda nalazi tek na samome početku, odnosno u fazi

kada se tek pokušava ozbiljnije formulirati. Može li na njega uopće biti uspješno odgovoreno korištenjem matematički i fizikalnih metoda, a pogotovo onih koje su nam trenutno na raspolaganju, predstavlja jedno sasvim novo i nimalo jednostavno pitanje. Ne ulazeći u njega na ovom mjestu, možemo ipak konstatirati kako nam naše dosadašnje povijesno iskustvo pokazuje da nam, čak i u slučaju negativnog odgovora na posljednje pitanje, upotreba metoda fizike barem omogućava da se donekle približimo razumijevanju Svemira i njegove prošlosti. U tom pogledu, smatramo da je rad na razvoju modela cikličkog Svemira značajan ne samo u vidu razrade novog modela koji je u stanju nadići sva ograničenja – kao i filozofske, konceptualne i fizikalne probleme ideje o Svemiru koji je vremenski konačan, već i u širem cilju razvijanja suvremene opće kozmologije (kao discipline koja uključuje sintezu kako fizikalnih tako i filozofskih metoda), a koja je moguća samo kroz istovremeni sukob i dijalog različitih ideja i teorija.

Velika znanstvena otkrića prošlog stoljeća vezana uz prošlost Svemira – kao što su opća teorija relativnosti, otkriće međusobnog udaljavanja galaksija, mikrovalnog pozadinskog zračenja koje ispunjava Svemir i ispitivanje zastupljenosti kemijskih elemenata - doveli su do postepenog odbacivanja slike o statičnom i vječnom Svemiru. Slika Svemira koji je oduvijek nepromjenjivo postojao bila je toliko čvrsto ukorijenjena u znanstvenoj tradiciji prošlih stoljeća da ova promjena paradigme nije prošla bez snažnog otpora – kao što su rana nastojanja Einsteina da na umjetan način očuva statički svemir dodavanjem posebno namještenog matematičkog člana ili kasniji pokušaji izgradnje modela stalnog stanja. Konačno, svi su se ovi pokušaji pokazali teorijski nepotpuni i problematični, te u sukobu s opažanjima. Možda je do sada najveći rezultat fizikalne kozmologije kao discipline to što je unutar nje pokazano da Svemir kao cjelina nije nepromjenjiv, već se neminovno mijenja – jednako kao što se i svi posebni dijelovi Svemira nezadrživo mijenjaju. Ne samo da se ta promjena izražava kao trenutno širenje Svemira, već se u toku tog širenja mijenjaju i strukture koje ga čine i procesi koji se u njima zbivaju. Time su zapravo kao aktualne alternative odgovora na pitanje o postanku Svemira preostale dvije koje su tisućama godina starije od one statičnog Svemira i čiji počeci sežu u epohu mitološkog mišljenja čovječanstva: i) Svemir nije postojao oduvijek već je nastao, ii) Svemir je vječan, ali i dinamičan; Svemir postoji oduvijek, ali tako prolazi kroz cikluse stvaranja i uništenja, odnosno skupljanja i širenja.

Treba istaknuti da u ovome trenutku, iz perspektive fizike i postojećih empirijskih dokaza, ne postoji mogućnost da jednu od tih alternativa isključimo. Često iskazani popularni stav prema kojemu "današnja znanost zastupa gledište da je

Svemir započeo u Velikom prasku” u osnovi je pogrešan. Sva naša opažanja koja nam daju neke empirijske uvide o prošlosti Svemira zapravo sežu tek u period u kojem Svemir postaje propustan za elektromagnetsko zračenje, stotinama tisuća godina nakon pretpostavljenog trenutka Velikog praska (za detalje preporučujemo neke od standardnih udžbenika kozmologije [1, 2, 3]). Većina naracija o Velikom prasku stoga se zapravo temelji na pojmovnoj zbrci. U opreci spram modela nepromjenjivog Svemira, a u suglasnosti s novim opažajkim otkrićima širenja galaksija i mikrovalnog pozadinskog zračenja, u kozmologiji je razvijen standardni model prema kojemu se današnji Svemir razvio širenjem iz ranijeg stanja obilježnog mnogo većom gustoćom i temperaturom – i taj model je dobio naziv Velikog praska (skovan od Freda Hoyla koji je zastupao suparnički model stalnog stanja). Takav model ”Velikog praska” zapravo je jednako u skladu s idejom o Svemiru koji je nastao, kao i idejom o Svemiru koji postoji vječno kroz svoje oscilacije - jer razvoj današnjeg Svemira iz ranijeg stanja velike gustoće savršeno je konzistentan s idejom da je tom stanju prethodio raniji period sažimanja u prošlosti Svemira.

Zapravo jedini argument u prilog početka Svemira – dakle Velikog praska u užem smislu riječi, koji se kao pojam neopravdano brka s onim diskutiranim u prethodnom odjeljku – potječe ne iz opažanja, već teorijske fizike, točnije opće teorije relativnosti. No, kako ćemo vidjeti, utemeljenost tog argumenta je veoma problematična te se on stoga ne može uzeti kao odlučujući dokaz po pitanju postanka Svemira. Hawking je naime u seriji svojih poznatih radova [4, 5, 6] dokazao teoreme o singularnosti, nastavljajući se na radove Rogera Penrosa. Po njima izlazi da – pretpostavljajući kako je opća teorija relativnosti ispravna i kako materija-energija u Svemiru poštuje uobičajene tipove energijskih uvjeta – svako prostor-vrijeme koje opisuje Svemir mora u sebi sadržavati singularnost: točku u kojoj zakrivljenost prostor-vremena postaje beskonačna (pri tome se ta zakrivljenost može tehnički iskazati preko invarijantnih veličina kao što je Riccijev skalar ili drugi tipovi kontrakcija Riemannovog tenzora, kao što je Kretschmannov skalar). Najvažniji uvid koji ovi teoremi pružaju iskazan je u činjenici da postojanje singularnosti ne proizlazi kao posljedica određenog modela prostor-vremena, već predstavlja nužno i opće svojstvo opće teorije relativnosti (pod pretpostavkom da svi oblici materije-energije u Svemiru poštuju ista svojstva kao i oni oblici koji su nam trenutno poznati). Međutim, ovdje fizikalno najproblematičnija pretpostavka je ona o točnosti opće teorije relativnosti - koja je zapravo pretpostavka njezine apsolutne točnosti. Naime, ne radi se samo o pretpostavci važenja njezinih temeljnih principa (gravitacija kao manifestacija svojstava prostor-vremena, princip ekvivalencije i kovarijantnosti), već o pretpostavci matematičkog važenja

klasičnih Einsteinovih jednadžbi gravitacijskog polja (što se na tehničkoj razini iskazuje kao linearna veza između Einsteinovog tenzora, $G_{\mu\nu}$, koji opisuje zakrivljenost prostor-vremena te tenzora energije-impulsa, $T_{\mu\nu}$, koji opisuje materiju-energiju, čime je jednadžba gravitacijskog polja dana kao $G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$, gdje je G Newtonova konstanta gravitacije). Ključno je istaknuti da su već dugo vremena poznati veoma snažni teorijski razlozi zbog kojih tu pretpostavku trebamo smatrati pogrešnom.

Osnovno je ograničenje opće teorije relativnosti to što je opis materije-energije i prostor-vremena u njoj u potpunosti deterministički i klasičan. Drugim riječima, sustavi koje ona opisuje pretpostavljaju se kao u potpunosti određeni u svakom trenutku, što onda određuje povijest svih ranijih i kasnijih trenutaka. Međutim, cjelokupni je razvoj fizike prošlog stoljeća potvrdio da je mikroskopski opis materije moguć samo ako se pretpostave relacije neodređenosti kvantne fizike, kao i probabilistički opis fizikalnih procesa putem valne funkcije. Na dovoljno velikim energijama, kada lokalni mikroskopski fizikalni procesi postanu tako značajni da više ne mogu biti ignorirani te počinju utjecati na globalnu strukturu prostor-vremena, opća teorija relativnosti više ne može biti tretirana kao ispravna. Drugim riječima, u režimima u kojima očekujemo da će efekti kvantne fizike postati odlučujući po opis gravitacije, više se ne može koristiti opća teorija relativnosti, nego još nepoznata teorija kvantne gravitacije. U skladu s time, imamo sve razloge da pretpostavimo kako će, odlazeći u prošlost Svemira gdje energijske skale postaju sve više – jednako kao i zakrivljenost prostor-vremena, Svemir prije napustiti režim u kojemu opća teorija relativnosti vrijedi kao valjana aproksimacija, nego dosegnuti singularnost. Na temelju našeg sadašnjeg poznavanja kvantne fizike možemo očekivati da će, ne samo materija-energija u svim svojim komponentama, već i samo prostor-vrijeme, u veoma ranom Svemiru početi divlje fluktuirati. U takvim uvjetima nemamo nikakve ozbiljne razloge da pretpostavimo kako će se kao ispravna jednadžba gravitacije zadržati Einsteinova jednadžba u svojem klasičnom obliku. Glavni je problem s primjenom Hawkingovih teorema u svrhu dokazivanja fizikalnog postojanja singularnosti stoga taj što nemamo nikakvih uvjerljivih argumenata - štoviše imamo mnogo razloga protiv - da vjerujemo u apsolutnu ispravnost klasične opće teorije relativnosti u navedenom režimu koji je ovdje upravo od interesa za našu raspravu.

Kao naredni korak nužno se postavlja sljedeće pitanje: mogu li spomenuti kvantni gravitacijski efekti zaista spriječiti pojavljivanje singularnosti? Rečeno drugačije, mogu li kvantni gravitacijski efekti nadomjestiti ono što se u čisto klasičnoj općoj teoriji relativnosti pojavljuje kao početak Svemira kozmičkim odbojem – od-

nosno prijelazom iz ranijeg stanja skupljanja u sadašnje stanje širenja Svemira? Za precizan odgovor na ovo pitanje morali bismo poznavati kvantnu teoriju gravitacije, što trenutno nije slučaj. U takvom stanju stvari, kao sljedeći korak nužno se nameće razmatranje tog pitanja na osnovu onoga što o kvantnim svojstvima gravitacije možemo očekivati, a na temelju poznavanja razlika opisa drugih fizikalnih polja koje su nastupile kao posljedica njihove uspješne kvantizacije. U slučaju neznanja najbolje je ostati što je moguće više konzervativan, rukovoditi se poznatim iskustvima i uvoditi što manje novih proizvoljnih konstrukcija. U tom se duhu možemo pitati: kakvi su u načelu najviše konzervativni učinci kvantne gravitacije koje možemo očekivati? Svakako možemo očekivati da će kvantni učinci u najmanju ruku dovesti do korekcija na Einsteinove jednačbe, kako je to slučaj s opisom ostalih polja koja su uspješno opisana kvantnom fizikom. Nešto možemo naslutiti i o mogućem matematičkom obliku tih korekcija. Korekcije u kvantnoj teoriji polja tipično uzimaju oblik samo-interakcije kvanata polja, što bi u ovom slučaju značilo samo-interakciju gravitacije. Takvi učinci tipično dovode do pojavljivanja viših potencija prostorno-vremenske zakrivljenosti (odnosno Riccijevog skalara i ostalih invarijantnih kontrakcija Riemannovog tenzora) u integralu akcije za gravitacijsko polje. Može se pokazati (vidi diskusiju u poglavlju 4. ovoga rada, kao i pregled literature te matematičku razradu ovog pitanja u [7]) da već veoma jednostavne, čisto matematičke korekcije tog tipa (koje zadržavaju sve glavne Einsteinove fizikalne pretpostavke netaknutima) mogu spriječiti pojavljivanje singularnosti te dovesti do toga da se stanje beskonačne zakrivljenosti i gustoće zamijeni neprekidnim i dobro definiranim prijelazom Svemira iz skupljanja u širenje. U pogledu ovog pitanja posebno treba istaknuti kako je u do sada najrazrađenijem programu kvantizacije gravitacije koji je poznat kao kvantna gravitacija petlje, točnije u okviru njegove primjene na kozmologiju, poznatom kao kvantna kozmologije petlje, pokazano kako se uključivanjem kvantnih učinaka u opis geometrije ukida singularnost Velikog praska, pretvarajući se u kozmički odboj [8]. Možemo zaključiti da se glavina naših trenutnih fizikalnih uvida, kao i logičnih zahtjeva koje postavljamo pred kvantnu gravitaciju veoma dobro slaže u pogledu odbacivanja fizikalne realnosti Velikog praska.

Premda na temelju Hawkingovih teorema nikako ne možemo zaključiti da je Svemir započeo u Velikom prasku, oni su i dalje veoma značajni ako se promotre na drugačiji način. Značaj Hawkingovih teorema može se vidjeti upravo u tome što oni ukazuju na temeljnu nužnu nepotpunost opće teorije relativnosti i time zapravo signaliziraju potrebu njezinog nadomještanja općenitijom teorijom u režimima velikih zakrivljenosti. Pojavljivanje singularnosti kao posljedice opće teorije

relativnosti ne može se – kao što smo diskutirali – naivno i neopravdano prihvatiti kao dokaz fizikalne egzistencije singularnosti, već prije kao dokaz unutarnje nepotpunosti same teorije. Nadalje, time što početak Svemira iskazuju kao singularnost, dakle matematički patološko i nedefinirano stanje, Hawkingovi teoremi zapravo implicitno ukazuju na nužnost kozmičkog odboja (a time zapravo i cikličkog Svemira) kao teorijski gledano superiornije alternative koja ne pati od takvih patoloških nedostataka.

Uzimajući u obzir prikazano stanje stvari, čini se veoma neobičnim kako je jedna matematička patologija prostor-vremena uspjela dobiti tako slavan status, pogotovo u široj javnosti. Početna singularnost, koja je u klasičnoj općoj teoriji relativnosti matematički neminovna, postala je tako, na temelju mistifikacije, Velikim praskom, slavnim trenutkom stvaranja čitavog Svemira. No, iza ovog velebnog naziva u osnovi se kriju samo veoma jednostavne (i tehnički krajnje problematične) matematičke divergencije npr. gustoća $\rho \approx a^{-4} + a^{-3}$ i Riccijevog skalara zakrivljenosti $R = (6/a^2)(a\ddot{a} + \dot{a}^2)$, u ovisnosti o faktoru skale a (koji opisuje promjenu udaljenosti točaka na prostor-vremenu Svemira), a koje se zbivaju u točki $a = 0$. Pri tome su \dot{a} i \ddot{a} prva i druga derivacija faktora skale po vremenu (u tzv. FRWL modelu Svemira koji se temelji na aproksimaciji da je Svemir jednak u svim svojim točkama i gledano u svim smjerovima). Opća teorija relativnosti zapravo ne opisuje Svemir koji nastaje iz Velikog praska jer se, kako smo pokazali, ispod ovog pojma zapravo krije matematička divergencija koja znači rušenje teorije i nemogućnost samog opisa razvoja Svemira, dakle bilo kakve evolucije Svemira iz te točke prema prošlosti ili budućnosti. Različiti tipovi sličnih matematičkih singularnosti su nam dobro poznati već i iz klasične fizike, npr. jakost električnog polja E za naboj Q na udaljenosti r , $E = Q/(4\pi r^2)$ kada udaljenost postaje $r = 0$. Takav tip matematičkih problema, povezanih s divergencijom rješenja fizikalnih jednadžbi, u pravilu pokazuje da je teorija došla do svojih granica i da više ne može ispravno opisivati fizikalne pojave (kao što npr. divergencija električnog polja za $r = 0$ označava da se klasična elektrodinamika mora zamijeniti kvantnom elektrodinamikom na mikroskopskim skalama). Isto tako, već sada posjedujemo dovoljan broj načelnih argumenata, kao i prve konkretne matematičke dokaze, koji nas učvršćuju u uvjerenju da je singularnost u evoluciji Svemira koja se zbiva za $a = 0$ samo matematički izraz potrebe za opisom ranog Svemira korištenjem kvantne gravitacije i ništa više. Velika, a u širim ne-znanstvenim krugovima u pravilu i nekritička, fascinacija Velikim praskom kao početkom Svemira stoga svoje razloge ima prvenstveno u razmatranjima koja nisu fizikalne, već često svjetonazorske ili (uglavnom nesvjesno) metafizičke naravi. No, kao što ćemo ukratko vidjeti u slje-

dećem poglavlju, ako želimo biti ozbiljni treba istaknuti da u tim pitanjima stvari nisu nipošto jednostavne kako se uglavnom vjeruje – npr. dio filozofskih škola koje su zastupale ciklički Svemir imale su u sebi istaknutu teološku komponentu, jednako kao što i vjerovanje u početak Svemira ne implicira nužno postojanje božanskog bića. U svakom slučaju, trebalo bi uvažiti kompleksnost čitavog pitanja, te dati mogućnost slobodnog razvoja kako empirijski-znanstvenog tako i metafizičkog te uopće filozofskog aspekta ove složene problematike. Kao i kod drugih pitanja tako se i ovdje još jednom pokazuje da bez filozofije prirode – jedinstvene discipline koja bi između ostaloga kritički izučavala ograničenja fizikalnih teorija i mogućnost iščitavanja filozofskih posljedica iz istih, paralelno uz njihovo teorijsko i matematičko razvijanje, svako bavljenje temeljnim pitanjima, kao što je ono postanka Svemira, završava u intelektualnoj neozbiljnosti, nepromišljenom slijeđenju intelektualne mode te favoriziranju često najvulgarnijih rješenja i interpretacija fizikalnih rezultata.

Približavajući se kraju ovog dijela poglavlja, možemo zaključiti da se na temelju trenutno raspoloživih spoznaja teorijske i eksperimentalne fizike Svemira nikako ne može dati konačan odgovor na pitanje je li Svemir imao početak ili ne. S druge strane, na temelju ukupnih teorijskih uvida koje posjedujemo, možemo s velikom sigurnošću zaključiti da je singularnost Velikog praska zapravo nefizikalni rezultat koji proizlazi iz ograničenosti same opće teorije relativnosti te koji se mora zamijeniti s kozmičkim odbojem - prelaskom Svemira iz ranije faze skupljanja u sadašnju fazu širenja. Time se naravno ne može nikada do kraja isključiti mogućnost da je, premda prolazeći kroz kozmički odboj, Svemir zapravo započeo u nekom još ranijem trenutku ili da se na pitanje o postanku Svemira naprosto ne može dobiti odgovor u okvirima fizike (primjerice, u slučaju da nekakva temeljna ograničenost njezine metodologije zapravo onemogućava da se odgovori na to pitanje u njezinom okviru). Ipak, zadržavajući se u ovoj diskusiji na problemu shvaćanja razvoja Svemira polazeći od spoznaja suvremene fizike - te interpretirajući i motivirajući pojedina filozofska rješenja u tom svjetlu – nećemo ulaziti u raspravu o takvim alternativama, za koje se u ovome trenutku ne mogu pružiti nikakvi nužni razlozi, te koje stoga ostaju čisto hipotetične. Spomenuti razlozi nas dakle, u tom okviru pretpostavki, motiviraju na sliku Svemira koji postoji oduvijek i prolazi kroz kozmički odboj.

Takvo nadomještanje postanka Svemira u Velikom prasku kozmičkim odbojem, koji predstavlja samo dosezanje minimalne skale udaljenosti među objektima, oslobađa nas različitih temeljnih problema i nedostataka koji su neminovno povezani s idejom o nastanku Svemira. Tako više ne postoji singularnost koja

znači kraj mogućnosti fizikalnog modeliranja Svemira, već se u kozmičkom odboju osigurava neprekidna i dobro definirana evolucija Svemira u svim trenucima. Osim toga, svaka ideja o nastajanju svega što jest vodi na ozbiljne filozofske probleme stvaranja iz ničega. Često se, u svrhu pokušaja ublažavanja proturječnosti koje razum uviđa u bavljenju ovim pitanjem, ističe kako sam postanak dovodi do stvaranja fenomena prostora i vremena, te se zbog toga ne može pitati o tome što je bilo prije stvaranja Svemira. Međutim, ova veoma poznata primjedba ne rješava osnovnu razinu problema, već je zapravo čak i zaoštava. Ideja postanka se naime temelji na prijelazu čistog nebića u biće, odnosno u postojanje - i to na takav način koji označava diskretnu rasječenost i potpunu odvojenost tih pretpostavljenih stanja, a istovremeno i spontanost navedenog prijelaza. Nasuprot razumskoj logici, koja biće i nebiće nastoji u potpunosti razdvojiti i promotriti u njihovoj pretpostavljenoj apsolutnoj razlici - i unutar koje je nemoguće pojmiti bio kakav prelazak iz bića u nebiće te nebića u biće, dijalektička logika nastoji misliti ostvarenje identiteta njihove razlike i nužnost takvih prijelaza. Veoma lijep uvod u takva razmatranja može se naći na početku Hegelove Logike, u transkripciji koja je objavljena i u ovom broju časopisa Kozmologija. U okviru spoznaja suvremene fizike ovaj je princip potvrđen kvantnim vakuumskim fluktuacijama. Ako pretpostavimo čisti vakuum (što je zapravo način na koji se kroz fizikalne pojmove prikazuje ništavilo), onda on u kvantnoj teoriji polja neminovno postaje ispunjen parovima čestica/anti-čestica, koji se iz njega pojavljuju i u njemu nestaju, odnosno nebiće se ostvaruje kao biće. Međutim, i u okvirima dijalektičkog pristupa, ideja o postanku zbog svojih pretpostavki i dalje ostaje nekonzistentna. Sada problem nije više naprosto u jednostavnoj nemogućnosti prelaska ničega u biće, već u pretpostavljenoj pojmovnoj odvojenosti takvih stanja. Ako postavimo čisto nebiće onda ono, promotreno u svojoj dijalektici, mora neminovno upravo time što je postavljeno kao takvo prijeći u biće (odnosno preciznije, čisto nebiće istovjetno s čistim bićem, prešlo je u postojanje, nešto što se pokazuje kao neko određeno biće). Drugim riječima, Svemir bi morao uvijek postojati: jer čak ako i pretpostavimo stanje njegovog nepostojanja, ono je odmah ukinuto razvijanjem postojanja. Nasuprot tome, ideja o postanku bi zahtijevala jedno čisto ništa koje opstaje u identitetu sa samim sobom kao čisto ništa i onda iznenada – sasvim paradoksalno – diskretno prelazi u postojanje Svemira. No, ako se čisto ništa održava u identitetu sa samim sobom, kako je onda moguće pojavljivanje različite tendencije u njemu koja bi ga ukinula kao čisto ništa? Ako takva tendencija postoji onda se ne radi o čisto ničemu, već upravo o nečemu, odnosno o biću. Ako ona pak ne postoji, onda čisto ništa mora naprosto ostati jednako samome sebi i Svemir ne

može nastati. Mora se dakle zaključiti da je ideja o Svemiru koji je nastao, čijem je trenutnom postojanju dakle prethodilo jedno stanje održavanja u nepostojanju, nekonzistentna kako iz perspektive tradicionalne razumske logike – jer pretpostavlja za nju neprihvatljiv princip prelaska iz nebića u biće, tako i iz perspektive dijalektičkog mišljenja – jer pretpostavlja ne-dijalektičku odvojenost i isključivost stanja bića i nebića. Nasuprot tome, slika beskonačnog Svemira koji umjesto nastajanja samo prolazi kroz kozmički odboj u potpunosti izbjegava ovakve temeljne probleme.

Usprkos ovim značajnim i dubokim prednostima koje ostvaruje, model beskonačnog Svemira koji prolazi kroz kozmički odboj sam po sebi i dalje ostaje nepotpun i u određenom opsegu neprirodan. To proizlazi iz stoga što u povijesti Svemira unutar ove slike postoji jedna veoma specifična i izuzetna točka: moment prelaska iz skupljanja u širenje, koji dijeli čitavu njegovu evoluciju na dva beskonačna dijela – beskonačno dugi period širenja nakon odboja i beskonačno dugi period skupljanja prije odboja. Svemir bi se tako beskonačno dugo sažimao, budući da prije svakog proizvoljnog trenutka sažimanja postoji uvijek raniji period sažimanja; te bi nakon tog beskonačno dugog vremena skupljanja morao u jednoj točki prijeći u širenje, koje bi isto tako trajalo beskonačno. Ova promjena stanja koja nastupa nakon beskonačno dugo vremena još je problematičnija ako primjerice prihvatimo procjenu (na temelju evolucije predviđene unutar spomenutog standardnog FRWL kozmološkog modela) da se kozmički odboj mogao dogoditi prije otprilike 14 milijardi godina. Prema tome bi izlazilo da se trenutno nalazimo u jednoj potpuno povlaštenoj i neprirodnoj fazi razvoja Svemira, praktički uz samu točku odboja, dok se iza i ispred nas nalaze beskonačno dugi periodi, po volji udaljeni od točke kozmičkog odboja. Ovi problemi mogu se jednostavno ukloniti ako se odbaci povlaštenost i neprirodnost jedinstvene točke kozmičkog odboja u evoluciji Svemira. Model Svemira postaje u potpunosti završen i prirodan tek ako se pretpostavi da postoje mnoge točke kozmičkog odboja, odnosno da se prelazak iz skupljanja u širenje ne zbiva samo jednom, već beskonačno mnogo puta. To nas vodi na model cikličkog Svemira koji predstavlja potpunu i dosljednu alternativu filozofski, konceptualno, matematički i fizikalno krajnje problematične predstave o stvaranju Svemira u Velikom prasku. Pri tome smo pokazali da ideja o cikličkom Svemiru ne nastaje iz nekog intelektualnog hira, odnosno želje za stvaranjem nekog novog egzotičnog modela, već iz potrebe da se prevladaju temeljna filozofska, konceptualna i matematička ograničenja drugih modela, koja nas logički korak po korak vode prema ideji cikličkog Svemira.

2 Ciklički Svemir u povijesti mišljenja čovječanstva

2.1 Mitološke predodžbe o cikličkom Svemiru

Veoma je zanimljivo što ideja o cikličkom Svemiru, koju smo u prošlom poglavlju konceptualno razvili polazeći od razvoja znanja suvremene fizike, predstavlja vjerojatno najstariju predodžbu o Svemiru, koja seže u prošlost daleko prije pojavljivanja filozofije i fizike kao samostalnih disciplina, duboko u sloj prvobitnog mitološkog mišljenja čovječanstva. Čini se kako su sve velike drevne kulture, u velikoj mjeri nezavisno, razvile svoje varijante predodžbi o cikličnosti Svemira. Pri tome se negdje radilo o jednostavnim mitološkim elementima i grubim slikama, a drugdje o kompleksnim i razvijenim koncepcijama cikličnosti svijeta, spremnim da se iz mitološkog mišljenja prenesu u filozofsko. Usprkos svom bogatstvu takvih razlika, čini se kako je svim tim predodžbama zajedničko što inspiraciju za cikličnost svijeta crpe iz punine neposrednog životnog iskustva čovjeka. Život se zaista pokazuje kao niz međusobno isprepletenih ciklusa koji se sastoje u izmjenama oprečnih, neprestano smjenjujućih, faza: dana i noći, udaha i izdaha, katabolizma i anabolizma, sistole i diastole, mjesečevih mijena, spavanja i budnosti, rasta i opadanja, rađanja i umiranja. U takvom nizu temeljnih prirodnih ciklusa treba posebno istaknuti onaj kretanja godine i smjene godišnjih doba, usko povezan s ciklusima kretanja nebeskih tijela. Za sve lovačke i poljoprivredne kulture, čije je preživljavanje ovisilo o veoma dubokom i preciznom poznavanju smjena godišnjih doba i svjesnosti o njihovoj periodičnosti, čini se da je upravo ovaj niz pojava postao temeljnom osi razumijevanja svijeta i razlogom duboke uvjerenosti u ciklički karakter sveukupnog postojanja.

O svemu ovome veoma nam rječito svjedoči sačuvani materijal vjerovanja i rituala starih naroda. Cikličnost Prirode pri tome se ne doživljava naprosto kao intelektualna predodžba, već se u vidu rituala aktivno proživljava u određenim razdobljima svake godine, zadajući temeljni okvir društvenim običajima: *"Cijela Nova godina jest ponovno oživljavanje vremena u njegovom počinjanju, to jest, ponavljanje kozmogonije. Ritualne borbe između dviju skupina, prisutnost mrtvih, saturnalijske i orgije, isto su tako elementi koji...pokazuju da se na kraju godine i u očekivanju Nove godine ponavljaju mitski trenuci prijelaza iz Kaosa u Kozmogoniju...Možemo uočiti da u svim tim lunarnim kozmičko-mitološkim koncepcijama prevladava ciklični povratak onoga što je bilo prije, jednom riječju - "vječni povratak". I tu nailazimo na motiv ponavljanja arhetipskog djela koje je preneseno na sve planove: kozmički, biološki, povijesni, ljudski itd. No istovremeno otkrivamo cikličnu strukturu vremena koje se regenerira sa svakim novim rođenjem, bez obzira na kojem se planu ono dogodi"* [9]. Široka rasprostranjenost ovakvih mitoloških

shvaćanja o cikličnosti postojanja može se pratiti u svim civilizacijama, posebno u kultovima plodnosti i svetkovinama vezanim uz temeljne točke godine (ljetni i zimski solsticij te proljetni i jesenski ekvinocij) te njihovo periodičko obnavljanje: kod Slavena, Maya i Azteka – gdje se razvijaju i detaljne ideje o cikličkom nastajanju i nestajanju čovječanstva, u Kini, Iranu, Indiji, Babilonu (naročito vezano uz astronomske predodžbe), kod starih Grka – posebno izraženo u mitu o smjeni povijesnih doba, Rimljana, kod Afričkih plemena, kao sagorijevanje i novo stvaranje svijeta u germanskoj tradiciji itd.

Koncepcija o cikličkom Svemiru vjerojatno dobiva svoju najsofisticiraniju mitološku razradu u okviru indijskih predodžbi. Već u najranijim himnama Rg Vede, koje se samo uslijed dubokog nerazumijevanja mogu okvalificirati jednostavnim politeizmom, periodičnost Prirodnih pojava predstavlja jedan od temeljnih i stalno ponavljajućih motiva. Velik broj himni je povezan s kozmološkom simbolikom u kojoj se slavi univerzalna pravilnost koja se ostvaruje kroz kretanje svijeta (*Rta*), godina se prikazuje kao kotač čije su žbice mjeseci i dani ili kao pravilno kretanje solarne kočije. Primjerice: *The twelve-spoked wheel, of the true (Sun) revolves around the heavens, and never (tends) to decay: seven hundred and twenty children in pairs, Agni, abide in it...All beings abide in this five-spoked revolving wheel; the heavily loaded axle is never heated; its internal compact nave is never worn away...the even-fellied, undecaying wheel, repeatedly revolves: ten, united on the upper surface, bear (the world): the orb of the Sun proceeds, invested with water, and in it are all beings deposited*[10] (720 djece predstavljaju očito dane i noći u toku godine dana, a pet žbica se vjerojatno odnosi na godišnja doba). Iz takvog pravilnog kretanja mnogovrsnih prirodnih sila (kao što su Vatra/Agni, Vayu/Vjetar, Ušas/Zora, Sunce/Surya, Mjesec-Nektar/Soma itd.) koje su u pjesničkoj viziji djelomično antropomorfizirane - premda nikada ne postajući posve individualiziranim božanstvima, već se, naprotiv, u himnama Veda neprekidno javljaju prelazeći jedni u druge, stalno upućujući na ono jedno i opće koje se svima nalazi u podlozi – pojavljuju se blagotvorne smjene prirodnih uvjeta, koje donose kiše što stvaraju hranu te omogućavaju blagostanje biljkama, životinjama i ljudima. U post-vedskom razdoblju kozmološka predodžba svijeta se znatno razrađuje, pri čemu se cikličnost Svemira u potpunosti eksplicira i postavlja u njezino središte. Prvobitna podjela Svemira na tri svijeta (zemlju, nebesa i atmosferu) dodatno se produbljuje uvođenjem mnoštva različitih svjetova koji odgovaraju različitim tipovima bića, a koji su hijerarhijski raspoređeni od najnižih do najviših, onih božanskih. Vrijeme protječe u vidu četiri različita razdoblja ili yuge, koje se ciklički ponavljaju, a između kojih se zbivaju periodička uništavanja i stvaranja Svemira. Čitava tako zamišljena evolucija Svemira zbiva se na temelju

tri osnovne kozmičke funkcije: stvaranja, održavanja i uništenja, kojima predsjedavaju tri božanstva - Brahma, Višnu i Šiva, koji se opet nalaze sjedinjeni sa svojim snagama (Šakti) personificiranima u vidu boginja. Pri tome se, opet, na temeljnoj razini nipošto ne radi o politeizmu tri različita božanstva koja predsjedavaju kozmičkim funkcijama što održavaju cikluse Svemira, budući da se Brahma, Višnu i Šiva u konačnici rastvaraju u jednom vrhovnom i apsolutnom božanstvu (koje se pak, ovisno o konkretnom kultu, uglavnom shvaća kao Šiva ili Višnu, ujedno čineći jedinstvo sa svojom Šakti). Zanimljivo je istaknuti da u kasnijoj, ne samo konceptualno nego i kvantitativno veoma bogato razrađenoj, kozmologiji Purana čitava evolucija Svemira ne slijedi samo jedan ciklus stvaranja i uništenja, već se radi o čitavom nizu ciklusa koji se nalaze koncentrično postavljeni jedni u druge. Na taj način, takva slika ostvaruje kako korespondenciju među različitim razinama postojanja, tako i strogo postavljenu kozmičku hijerarhiju bića. Primjerice, počnajući od temeljne jedinice koju čini vrijeme potrebno za treptaj oka, dolazimo nizom prijelaznih jedinica vremena do dana povezanih u mjesec koji se dijeli na period rasta i opadanja Mjeseca. Jedan mjesec u svijetu ljudi čini jedan dan u svijetu predaka – čime se očito iskazuje veoma stara mitološka veza između mjesečevih mijena i besmrtnosti, odnosno obnavljanja života u lunarnim kultovima. Godina u svijetu ljudi se opet sastoji od dva dijela - očito povezanih s jačanjem i opadanjem Sunca u toku godine, pri čemu oba dijela čine jedan dan i noć u svijetu bogova, dok 360 ljudskih godina čini jednu božansku godinu. 12 000 godina i prijelazni period između svakog doba čini razdoblje od četiri yuge, dok tisuću yuga čini kalpu koja predstavlja dan Brahme; nadalje se dan Brahme produžuje u godine Brahme koje ispunjavaju njegov čitav život, koji pak predstavlja samo jedan dan Višnua, čiji cjelokupni životni vijek čini samo jedan dan Šive [11]. Očito je da u ovoj slici ne postoji samo jedan tip uništenja i stvaranja, nego čitav niz koncentričnih ciklusa čiji obuhvatniji elementi podrazumijevaju uništenje svih nižih struktura, sve dok na najvišoj razini ovih ciklusa, u kozmičkoj noći, ne budu uništeni svi svjetovi i bogovi, koji se onda opet po odgovarajućoj hijerarhiji stvaraju početkom kozmičkog dana: *The subjects, the Prajapatis (Brahme), the three deities, gods, Asuras (demoni), the sense-organs, the sensual objects, the five great elements, the subtle and gross elements, the cosmic Intellect, the deities, all these abide during the day of the self-possessed Paramesvara (Šiva). They get dissolved at the end of the day. At the end of the night again begins the origin of the universe.* [11]. Indijska filozofija, uključujući i ne-ortodoksne škole đainizma i budizma, u svome će se razvoju prvenstveno orijentirati prema epistemološkim, metafizičkim kao i praktičnim pitanjima ljudskog oslobođenja, u pravilu pretpostavljajući ovakvu mitološku cikličku kozmologiju kao ispravan opis svijeta

na fenomenološkoj razini, ali prije svega nastojeći ostvariti dosezanje jedinstva s Apolutom, a time i nadilaženje ove sfere ciklične promjene.

Završavajući dio poglavlja namijenjen kratkom pregledu ideja o cikličkom Svemiru u mitološkom mišljenju, potrebno je dati kratki osvrt na njihov smisao i relevantnost. Misao našeg vremena, koja siguran temelj znanja vidi u metodama razuma i pristupu empirijskih znanosti, sklona je da, po kratkom postupku, otpiše sve ovakve predstave kao izraz nerazvijenosti mišljenja prošlih vremena ili u najboljem slučaju zabavni kuriozitet. Takvim stavom se nažalost gubi veoma mnogo. Svakako stoji da mitološke slike ne mogu nikako služiti u svrhu dobivanja uvida o empirijskom znanju ili pak u svrhu izgradnje misaonog sustava utemeljenog na logičkom mišljenju. Međutim, navedeno nipošto ne može oduzeti sav značaj simboličkom mišljenju, koje se temelji na traganju za skrivenim korespondencijama između različitih razina postojanja, često u poetskoj viziji intuitivno naslućujući ono što racionalno znanje još uvijek nije u stanju izraziti. Njegova se važna uloga sastoji u tome da nam pomakne granice imaginacije i dovede u pitanje uobičajene pretpostavke koje razum poduzima u svrhu istraživanja svijeta, na taj način otvarajući nove prostore mogućnosti. Osim toga, zaista kritična i reflektivna misao nastoji zahvatiti čitav svoj razvoj u vidu misaone baštine čovječanstva, u svim formama tražeći inspiraciju za svoj daljnji razvoj, ne srameći se niti povratka na svoje početke – jer dobro zna da se u takvim istraživanjima može ponovno naići na ono što se zaboravilo ili pristupiti putevima i rješenjima koja su se u međuvremenu izgubila iz vida. Istraživanje mitoloških ideja o cikličkom Svemiru nam pokazuje da je ova koncepcija jedna od univerzalnih datosti čitavog čovječanstva, koja se spontano pojavila u praktički svim kulturama. Navedeno se očito ne može iskoristiti u svrhu nekakvog dokazivanja ispravnosti ove ideje, ali umjesto toga ukazuje na to koliki je njezin značaj u temeljnom odnosu ljudske svijesti prema Prirodi. Osim toga, čini se da nam taj univerzalni mit o cikličnosti želi poručiti kako se periodični ciklusi pojavljuju kao obilježje svih tipova pojava s kojima se svakodnevno suočavamo, a koje omogućavaju postojanje svijeta na način koji nam je poznat. U skladu s time – budući da se Svemir pojavljuje već u svome pojmu kao jedinstvo i red, te da se opći principi njegovog funkcioniranja jednako pojavljuju na svim razinama i u svim sustavima – taj nas uvid tjera na zamisao da i čitav Svemir, baš kao i pojave u njemu, treba biti cikličan. Naravno, s logičke točke gledišta se može odgovoriti da se obilježja jedne klase pojava nikako ne mogu automatski pripisati široj klasi: ako je niz značajnih pojava u Svemiru cikličan, odatle ne slijedi nužno da je i sam Svemir cikličan. Odgovor na ovu primjedbu tjera nas van okvira mitološke kozmologije, u otvoreno istraživanje ovog pitanja u okvirima sinteze filozofije

i fizike, odnosno filozofije prirode, koje je još daleko od svog kraja (mogli bi štoviše reći kako u pravom smislu riječi nije ni započelo). No, već se i sada možemo pitati: nije li upravo čitav razvoj našeg znanja o Svemiru, od predstava Aristotela pa do ideja Giordana Bruna i otkrića Kopernika i Galileja, sve do Hubblea i Friedmanna, potvrđivao univerzalnost i jedinstvenost principa Prirode, neraskidivu vezu različitih skala, kao i harmoniju dijela i cjeline?

2.2 Filozofske ideje o cikličkom Svemiru

Vjerojatno najranije pojavljivanje cikličkog Svemira kao potpuno razvijenog filozofskog koncepta javlja se u okviru kineske filozofije. Slično kao i u indijskom mišljenju, ideja o cikličnosti postojanja nije vezana samo uz jednu filozofsku školu, već predstavlja širi okvir promišljanja Prirode, koji potječe još iz perioda mitološkog mišljenja. Međutim, posebno je važnu ulogu ciklička kozmologija igrala u ranoj školi yin-yang, koja se razvila iz drevnih kineskih tradicija proricanja i okultnih vještina. Pokušaji proricanja bili su zapravo primjer prvih nastojanja usmjerenih prema predviđanju pojava u svijetu. Takvi su pokušaji stavili naglasak na uočavanje prirodnih obrazaca, kao i njihovog periodičkog smjenjivanja, što je posljedično omogućavalo i određenu mogućnost predviđanja događaja. U tom pogledu, posebno se važnom za daljnji razvoj škole yin-yang pokazala mnogo starija Knjiga promjena (I Ching), koja je okolnosti života i njihove transformacije opisivala putem odnosa između proturječnih i međusobno neraskidivo vezanih tendencija yin-a i yang-a: točnije, različitim konfiguracijama linija koje su predstavljale yin i yang u okviru njihovih trostrukih kombinacija (trigrama), pri čemu su se dva trigrama spajala u heksagrame. Interpretacija i komentari takvih simboličkih uzoraka snažno su utjecali na ideje škole yin-yang, kao i na razvoj taoističke i konfucijanske škole. Također, dvije potonje škole, a posebno taoisti, u svom su daljnjem razvoju usvojile mnoge koncepcije škole yin-yang, uključujući i razne elemente njezine kozmologije. Pojmovi yang i yin prvobitno su označavali svjetlost i njezin izostanak, odnosno svjetlu stranu planine i mračnu stranu rijeke, no ubrzo su počeli označavati arhetipski izraz dviju temeljnih kozmičkih tendencija: yang je označavao ono aktivno, evoluciju, čvrsto, svjetlo itd., a yin ono pasivno, involuciju, mekoću, tamu itd. Shvaćalo se da se ove dvije temeljne oprečne tendencije nerazdvojno nalaze u svim stvarima, relativno određujući onu drugu, neprekidno se sukobljavajući i time ostvarujući harmoniju, te štoviše prelazeći jedna u drugu. Postojanje svih stvari, kao i Prirode u cjelini, se u skladu s time shvaćalo kao ciklus promjena yina i yanga i njihov međusobni prijelaz: iz perioda minimalnog yanga i maksimalnog yina, u period jačanja yanga i smanjivanja yina, mak-

simuma yanga i minimuma yina, te konačno opadanja yanga i jačanja yina, koje vodi na početak novog ciklusa. Teorija takvih cikličkih mijena u okviru škole yin-yang dodatno je razvijana i unutar koncepcije o pet principa. Prema ovoj koncepciji osim yin-yanga kao primarnih kategorija, pojave u Prirodi dodatno određuje dinamizam pet principa: drva, vatre, zemlje, metala i vode. Premda se za ovih pet principa, koji se nazivaju wuxing, u prijevodima na europske jezike ustalio termin "pet elemenata" treba posebno istaknuti kako se ovdje nikako ne radi o elementima u smislu građevnih jedinica materije, već o dinamičkim kategorijama koje zapravo opisuju relativne odnose među pojedinim fazama ciklusa. Kao i u ranijoj mitološkoj misli i ovdje je smjena godišnjih doba i njihovo cikličko vraćanje postalo standardom za izučavanje cikličkih pojava uopće, a time i čitave Prirode. U skladu s time, ovih pet principa istovremeno predstavlja momente u kretanju godine, kao i opće aspekte odnosa faza nekog procesa, odnosno dijelova prema cjelini. Drvo odgovara proljeću, ili uopće početnoj fazi pokretanja ciklusa, vatra ljetu ili dosezanju maksimuma određenog procesa, metal jeseni ili fazi stagnacije, dok voda odgovara zimi ili općenito najnižem stadiju nekog procesa, nakon kojega se prelazi u novi ciklus. Zemlja, pak, ovisno o detaljima tumačenja, odgovara središnjem dijelu ljeta ili završnom periodu svakog od razdoblja. Posebno su se važnima smatrali tipovi međusobnih odnosa u koje ulaze ovih pet principa, a koji su mogli biti podupirući (kao primjerice drvo-vatra) ili antagonistički (kao primjerice vatra-voda) te su se, u skladu s time, svrstavali u ciklus stvaranja i ciklus uništavanja. Prvo pojavljivanje ovih pet principa, kojima se nastojalo objasniti sve pojave - od kretanja neba, preko ljudskog tijela i njegovog liječenja pa do smjene dinastija - čini se da se po prvi puta pojavljuju u djelu Hung Fan, koje vjerojatno datira iz 4. ili 5. stoljeća prije naše ere, dok je možda najvažnije doprinose u njezinoj kasnijoj razradi pružio Tsou Yen [12]. Posebna zanimljivost ovih razmišljanja proizlazi iz toga što se na taj način nastoji doći do razumijevanja temeljnih obilježja svakog cikličkog procesa. U skladu s time, općenite faze modela cikličkog Svemira u suvremenoj fizikalnoj kozmologiji, o kojima ćemo govoriti u poglavlju 3. i 4. ovog rada, zapravo se lako uklapaju u ovih pet kineskih principa: početak kozmičkog ciklusa, koji označava izlaženje iz stanja minimalne vrijednosti faktora skale, odgovarao bi drvu, kasnija faza širenja Svemira odgovarala bi vatri, faza skupljanja metalu, približavanje minimalnoj vrijednosti faktora skale vodi, a faza oko maksimalne vrijednosti faktora skale zemlji.

Možemo reći da u Zapadnoj filozofiji ideja cikličnosti svijeta po prvi puta zauzima temeljno mjesto u filozofiji Heraklita iz Efeza. Svemir je po Heraklitu vječna Vatra (Pyros), koja se periodički pali i gasi (Heraklitov fragment broj 20) [13]. Čini

se da je Heraklit, koristeći simbolizam Vatre za ono Jedno, želio istaknuti da se svijet održava kao jedinstvo samo kroz stalnu promjenu, kao što pojava vatre postoji samo kroz gorenje i neprestane promjene svojih oblika. Ideja da se vječna Vatra s mjerom pali i smjerom gasi nipošto se ne bi smjela shvatiti kao neka misaona prozivljnost, već se nalazi u najužoj vezi s ostatkom Heraklitove filozofije. Heraklit je dubokim mišljenjem našao da se odnos između proturječnosti nalazi u svakoj stvari (npr. fragmenti 45, 50, 56, 57, 69, 81) shvatio je kako je upravo taj odnos ono što omogućava postojanje svake stvari kroz jedinstvenu harmoniju (npr. fragmenti 31, 43, 44, 46, 56, 59, 60, 62) te kako se, štoviše, u Prirodi zbiva stalna mijena između parova suprotnosti (npr. fragmenti 25, 36, 39, 40, 67, 68). Čitav Svemir stoga u Heraklitovoj misli, kao ono što u sebi obuhvaća obilježja svih pojedinačnih stvari i njihovih promjena, odražava u svom postojanju takvo smjenjivanje suprotnosti. Stoga, kao što se od života prelazi u smrt, iz sna u budnost, iz suhoga u vlažno itd. - i obrnuto, tako i čitav Svemir prelazi iz manifestiranog (Vatra koja je upaljena) u nemanifestirano stanje (Vatra koja je ugašena), odnosno Svemir je Vatra koja se pali i gasi. Pri tome se to paljenje i gašenje zbiva s mjerom - jer, kao što se sukobom između oprečnih tendencija kod pojedinačnih pojava zapravo postiže sklad (kao kod muzičkih instrumenata, gdje je skladan ton rezultat sukoba između natezanja žice i njezine unutarnje težnje da se vrati u ravnotežu), tako se po Heraklitu jedinstvo čitavog svijeta kroz sukob ostvaruje kao sklad, odnosno mjera. U Heraklitovom mišljenju vidimo stoga inovativnu filozofsku razradu uvida koji su se pojavili već u fazi mitološkog mišljenja, koje smo prikazali ranije prilikom diskusije o vedskoj kozmologiji. Heraklitova filozofija također pokazuje usku vezu u odnosu na pristup i rezultate škole yin-yang, kao i kasnije taoističke misli. Ove su tradicije mišljenja, ne samo nezavisno već i u okviru različitih civilizacija, došle do zajedničkog uvida o postojanju kao komplementarnom odnosu među proturječnostima i harmonije kao izraza te njihove istovremene sukobljenosti i uslovljenosti. Iz tih zaključaka je onda prirodno proizašao uvid o cikličnosti u postojanju stvari i Svemira kao cjeline, koji predstavlja potpuni izraz navedene harmonije.

Empedoklova vizija kozmičkih ciklusa iskazana je prilično eksplicitno u njegovom fragmentu broj 17) [14]. Prema tom fragmentu, u postojanju svijeta ističu se dva specifična trenutka: prelaska iz mnoštva u jedno i prelaska iz jednog u mnoštvo, koji su povezani sa stvaranjem i uništavanjem. Ljubav (Philotes) je pri tome naziv za onaj princip koji stvari dovodi u jedinstvo, a Razdor (Neikos) za težnju koja ih razdvaja. U stadiju koji prethodi jačanju principa Razdora, dakle u nemanifestiranom stanju, četiri Korijena (Rizomata) tj. elementa (zemlja, zrak, vatra, voda) su međusobno povezani u sferu putem Ljubavi, koja se nalazi u njihovom

središtu. Jačanje Razdora odvaja Korijene jedne od drugih, time stvarajući mogućnost za postepenu evoluciju. Konačno, ponovno jačanje Ljubavi na kraju ove faze vodi natrag u nemanifestirano stanje i ciklus započinje ponovno. Slična ideja o stvaranju kao posljedici narušavanja ravnoteže između temeljnih principa, te nemanifestiranom stanju kao njihovoj ravnoteži, pojavljuje se i unutar indijske škole samkhya, u pogledu odnosa tri atributa (gune) koji odlikuju materijalnu prirodu (prakriti). Vidimo da su kozmološke ideje Empedokla također usko vezane uz ranije diskutirane koncepcije Heraklita i škole yin-yang, kojima se ciklička kozmologija uspostavlja kroz odnos između proturječnih tendencija. Slijedeći sličan misaoni put, Empedoklo je uveo dodatnu podjelu između materijalnih korijena stvarnosti - zemlje, zraka, vatre i vode - te oprečnih tendencija Ljubavi i Razdora koje djeluju na njih, a koje su primjerice unutar škole yin-yang bile obuhvaćene u istom pojmu.

Ciklički Svemir je također imao važnu ulogu u filozofiji pitagorejske škole, posebno kod Filolaja. Shvaćajući Svemir kao matematički organizirani red, pitagorejci su pristupili opisu Svemira putem broja i geometrijskih oblika. Filolajev model Svemira podrazumijevao je kruženje Sunca i planeta oko središnje vatre po strogim kružnicama. Čini se da je ovakav kružni tip kretanja nebeskih tijela doveo do ideje o kružnoj prirodi vremena. To je izraženo u ideji o Velikoj godini – vremenu koje je potrebno da se svi planeti nađu na istoj poziciji. Kraj Velike godine bio je u predodžbama pitagorejske škole povezan s novim početkom kozmičkog ciklusa, pri čemu su se takvi ciklusi beskonačno ponavljali. Ideja Velike godine je kasnije snažno utjecala na stoike i njihovo shvaćanje cikličnosti Svemira. Pod utjecajem kako ovih pitagorejskih ideja o Velikoj godini, tako i Heraklitove filozofije, stoička se kozmologija zasnivala na ideji o vječitim ciklusima Svemira, kao i uništenju Svemira na kraju svakog ciklusa u vatri, ekpyrosis. Ekpyrosis tako uništava čitav svijet kako bi se pročistio te pripremio za obnovu koja nastupa početkom novog ciklusa. Pod utjecajem ovih stoičkih i neopitagorejskih predodžbi, ideje o cikličnosti svijeta široko su se proširile čitavim rimskim svijetom u prvom i drugom stoljeću prije nove ere.

Premda je židovsko-kršćanska tradicija, koja će u narednim tisućljećima zavladati mišljenjem Europe, stariju predodžbu cikličnosti Prirode zamijenila paradigmom linearnog vremena, koje započinje božanskim stvaranjem svijeta, a završava (prvim ili drugim) dolaskom mesije, ona je u nizu svojih predodžbi, poglavito onima vezanima uz apokalipsu i kraj svijeta, očigledno bila pod utjecajem ranije prikazanih ideja vezanih uz cikličku kozmologiju (za detalje vidjeti [9]). Konačno, vizija Svemira klasične mehanike, u osnovi utemeljena na pretpostavkama meha-

nicističkog materijalizma, u opreci spram ovih gledišta postavila je sliku nepromjenjivog Svemira, koja je odbačena tek u toku prošlog stoljeća.

Nažalost, u periodu razvijanja kozmologije kao empirijske znanosti i utvrđivanja dinamičkog karaktera Svemira, filozofija se već nalazila odavno odvojena od empirijskih znanosti. Zbog toga je, u pravilu, izostalo ozbiljno ispitivanje ovih problema u pristupu koji mora biti nužno obilježen kako spekulativnom, tako i empirijsko-znanstvenom širinom, te se stvar još uvijek nažalost uglavnom svodi na brzopleto nabacivanje impresija koje se dobivaju na temelju jednadžbi i statističke analize podataka. Takve impresije su u pravilu snažno uvjetovane kulturološkim predrasudama. Razvijanje discipline koja bi pitanju spoznaje Svemira u cjelini pristupila na kritički i opći način, a unutar koje je jedino moguće razviti potpunu suvremenu koncepciju cikličkog Svemira u svim fizikalnim i filozofskim implikacijama, te je usporediti i sukobiti s drugim alternativama, stoga još uvijek ostaje zadatak za budućnost.

3 Općeniti fizikalni opis cikličkog Svemira

Cilj naredna dva poglavlja ovoga rada je dati diskusiju o mogućnosti opisa cikličkog Svemira na temelju metoda i pretpostavki suvremene fizikalne kozmologije. Time našu diskusiju o cikličkom Svemiru, koja je do sada obuhvatila raspravu o aktualnosti cikličke slike Svemira na konceptualnoj razini (poglavlje 1) te kratki pregled predodžbi o cikličkom Svemiru u povijesti mišljenja čovječanstva (poglavlje 2) završavamo pregledom općenitih metoda fizikalnog modeliranja cikličkog Svemira (poglavlja 3 i 4), prikazujući prvenstveno nove rezultate originalno objavljene u radovima [7] i [15]. Pri tome smo prvenstveno zainteresirani za opća svojstva cikličkog Svemira i pronalaženje nužnih uvjeta za njegovo ostvarivanje koji moraju biti ispunjeni bez obzira na specifični kontekst pojedinih modela. Smatramo da je takav općeniti pristup naročito potreban u postojećoj situaciji kada još uvijek ne znamo kako se od klasične opće teorije relativnosti približiti kvantnoj gravitaciji kao potpunijoj teoriji gravitacije. Paradigma cikličkog Svemira ne bi smjela postati žrtvom niti konzervativizma i našeg neznanja gravitacije na visokim energijama i prirode tamne energije, a niti maštovitih proizvoljnih hipoteza s druge strane. Iz tog razloga ne ulazimo u prikaz nekih veoma specifičnih cikličkih modela realiziranih na temelju niza dodatnih hipotetičnih i često nemotiviranih ili problematičnih pretpostavki, već se posvećujemo pitanju općeg fizikalnog modeliranja cikličkog Svemira koje je u skladu sa znanjem koje trenutno posjedujemo.

3.1 Metrika i materija

Fizikalna kozmologija svoj pristup u opisu Svemira zasniva na načelima opće teorije relativnosti. U tom smjeru kreće poimanje Svemira fizikalne kozmologije, polazeći od metrike koja predstavlja dinamički entitet samog prostorvremena. Prvobitna pretpostavka o Svemiru standardnog kozmološkog modela jest da je on homogen i izotropan, te taj princip određuje metriku koju pišemo

$$g_{\mu\nu} = \text{diag}\left(-1, \frac{a(t)^2}{1-kr^2}, a(t)^2 r^2, a(t)^2 r^2 \sin^2 \theta\right), \quad (1)$$

gdje tako definiranu metriku zovemo Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker-ovom (FLRW) metrikom. Funkciju $a(t)$ koja je ovisna o vremenu zovemo faktor skale. Uz to, faktor $k = \pm 1$ ili $k = 0$ određuje globalnu zakrivljenost Svemira, pa tako za $k = 0$ on je ravan, $k = +1$ kažemo da ima pozitivnu zakrivljenost, a $k = -1$ negativnu zakrivljenost. Za sve vrijednosti k Svemir je beskonačan, osim u slučaju $k = +1$ kada je on konačan. U konstrukcijama konkretnih modela usredotočit ćemo se na $k = 0$, odnosno na ravan Svemir. Razlog tomu je što su trenutačna opažanja u skladu s tom pretpostavkom, iako se i iz drugih načela i simetrija može naslutiti kako bi Svemir trebao biti globalno ravan. S druge strane, materiju koja prožima cijeli svemir možemo matematički predstaviti kao idealni fluid, čiji je tenzor energije i impulsa dan kao

$$T^{\mu\nu} = (\rho + p)u^\mu u^\nu + pg^{\mu\nu}, \quad (2)$$

gdje je ρ gustoća energije fluida, p tlak fluida, a u_μ su normirane četverobrzine za koje vrijedi $u^\mu u_\mu = -1$. Tenzor energije i impulsa je sačuvana veličina, u smislu što je kovariantna derivacija nula

$$\nabla_\mu T^{\mu\nu} = 0, \quad (3)$$

iz čega proizlazi jednačba kontinuiteta

$$\frac{d\rho}{dt} + 3H(t)(\rho + p) = 0, \quad (4)$$

gdje je $H(t)$ Hubbleov parametar, koji općenito ovisi o vremenu, te je dan kao $H(t) = \dot{a}/a$, a točka iznad funkcije označava derivaciju po vremenu $\dot{a} = da/dt$.

3.2 Jednadžbe gibanja

U prethodnom poglavlju uvedena je metrika kao pozornica po kojoj se materija kreće, kao i materija koja određuje strukturu prostorvremena. Međutim, dinamika prostorvremena i materije ovisi o konkretnom modelu (teoriji) koju razmatramo. Opća teorija relativnosti je dana Einstein-Hilbertovom akcijom

$$S_{EH} = \frac{1}{2\kappa} \int \sqrt{-g} R d^4x, \quad (5)$$

gdje je $\kappa = c^4/8\pi G$, R je Riccijev skalar, a $\sqrt{-g}d^4x$ je vlastiti volumen. Varijacija gornje akcije po metrici nam daje jednadžbe gibanja koje zovemo Einsteinovim jednadžbama

$$G^{\mu\nu} \equiv R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg^{\mu\nu} = 0, \quad (6)$$

gdje $R^{\mu\nu}$ nazivamo Riccijevim tenzorom – koji opisuje prostorvremensku zakrivljenost, a $G^{\mu\nu}$ Einsteinovim tenzorom. Gornja jednadžba daje nam opis praznog gravitacijskog polja, bez materije-energije. Stoga je desnoj strani jednadžbe potrebno dodati doprinos materije kako bi imali potpunu jednadžbu. U tzv. minimalnom vezanju gravitacije i materije jednadžbe gibanja se vežu uz prostorvrijeme na način

$$R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg^{\mu\nu} = \kappa T^{\mu\nu}, \quad (7)$$

gdje je lijeva strana jednadžbe dana prostorvremenskim poljima, a desna strana raspodjelom masa, energija i tlakova materije. U tom smislu govorimo o tome kako materija određuje (zakrivljuje) prostorvrijeme svojom prisutnošću, a s druge strane prostorvrijeme određuje kretanje materije. Promotrimo sada radi jednostavnosti za trenutak kozmološki model koji opisuje Svemir kao ispunjen kozmičkom prašinom (potpuno nezavisnim česticama). U tom slučaju vrijedi $p = 0$. Uvrstimo li s lijeve strane FLRW metriku, a s desne model idealnog fluida, dan s jednadžbom (2), dobivamo poznate jednadžbe koje nazivamo Friedmannovim jednadžbama

$$\frac{\dot{a}^2 + kc^2}{a^2} = \frac{8\pi G\rho}{3}, \quad (8)$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right), \quad (9)$$

gdje $\dot{a} = da/dt$ označava derivaciju po vremenu, a $\ddot{a} = d^2a/dt^2$ drugu derivaciju po vremenu. U svrhu konstruiranja cikličkog Svemira vidimo vrlo brzo da ako je

ρ konstanta, jednadžba (9) poprima oblik

$$\ddot{a} + \omega^2 a = 0, \quad (10)$$

gdje je $\omega^2 = 4\pi G\rho/3$, te je rješenje takve jednadžbe

$$a(t) = A \sin(\omega t + \phi). \quad (11)$$

Kako bi dobiveno rješenje bilo konzistentno s (8) dobivamo uvjet $k > 0$, kao i $k > \omega^2 a^2$. Drugim riječima, samo za konačan Svemir (pozitivne zakrivljenosti) možemo dobiti cikličko ponašanje funkcije skale $a(t)$. Osim tog ograničenja, također dobivamo singularno ponašanje $a(t)$ koji za neke t poprima nulu, kao i negativne vrijednosti koje nemaju fizikalnog smisla. Naravno, u ovom prikazu upitna je i smislenost pretpostavke o konstantnosti gustoće ρ . Do ovakvog tipa rješenja je došao već i Tolman [16, 17], doduše u nešto izmijenjenom obliku, te je njegov rad predstavljao jedan od prvih pokušaja konstrukcije cikličkog Svemira u kontekstu fizikalne kozmologije.

Međutim, nedavno je otkriveno kako se Svemir ubrzano širi [18], iz čega je proizašla potreba modifikacije Einsteinovih jednadžbi (7) na način što je dodana kozmološka konstanta Λ koju često zovemo i energijom vakuuma. Tada jednadžba postaje

$$R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg^{\mu\nu} + \Lambda g^{\mu\nu} = \kappa T^{\mu\nu}, \quad (12)$$

te je formalno dobiven učinak ubrzanog širenja Svemira jer za zadanu FLRW metriku faktor skale se eksponencijalno širi u vremenu kao $a \sim e^{\Lambda t/3}$. Ovaj rezultat se danas smatra temeljem Λ CDM kozmologije gdje Λ označava tamnu energiju, a CDM (Cold Dark matter) hladnu tamnu materiju. Taj rezultat je u mnogočemu nezadovoljavajuć, ponajprije zbog nemotiviranog uvođenja članova „neobične” materije koja ovdje stoji samo kako bi zadovoljila trenutna opažanja, a da ne govorimo o ogromnom odstupanju od energije vakuuma ρ_{vac} , dobivene iz principa kvantne teorije polja, i kozmološke konstante Λ koje se razlikuju za 120 redova veličine [19]. Problem početne singularnosti, kao i cikličnosti u Λ CDM modelu je također nejasan, a njen odnos s potencijalnim kvantnim teorijama gravitacije nije razmotren, s obzirom da se valjanost opće teorije relativnosti u tom modelu uzima kao zadana.

Svi ovi problemi, a posebno problem singularnosti te razdvojenost opće teorije relativnosti od kvantne mehanike, ukazuju na to da treba razmotriti modificiranu teoriju gravitacije, koja je ujedno poopćenje opće teorije relativnosti,

kao i put prema kvantnoj gravitaciji. U kontekstu diskusija prikazanih u prvom poglavlju, možemo očekivati da ćemo upravo u takvom okviru efektivnih teorija usmjerenih prema kvantnoj gravitaciji moći postići fizikalne uvjete potrebne za ostvarenje cikličkog Svemira. Navedeno ćemo strogo dokazati u raspravama koje slijede.

3.3 Dinamička analiza cikličkog Svemira

Poznato je da se kompleksniji problemi, odnosno kompliciranije diferencijalne jednačbe, mogu analizirati preko formalizma tzv. dinamičkih sustava. U takvoj analizi najčešće ne možemo doći do samog rješenja diferencijalnih jednačbi, no ipak možemo doći do kvalitativnog opisa ponašanja rješenja tih diferencijalnih jednačbi. U kozmologiji, pogotovo u modificiranim kozmološkim jednačbama, javljaju se vrlo kompleksne diferencijalne jednačbe, te je jedna od korisnih metoda upravo analiza dinamičkog sustava kozmoloških jednačbi gibanja.

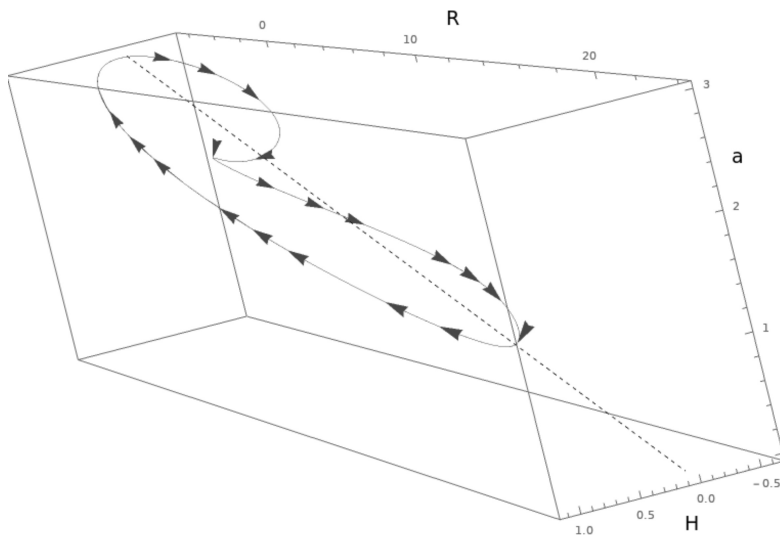
U skladu s rečenim, u pokušaju proučavanja cikličkih modela vrlo je elegantno koristiti takvu analizu, gdje je dovoljno pokazati cikličko ponašanje rješenja jednačbi gibanja, bez da se jednačbe gibanja analitički riješe. Konkretno, u općenitoj analizi modela cikličkog Svemira koristit ćemo konfiguracijski prostor tri parametra: faktor skale a , Hubbleov parametar H kojeg tumačimo kao parametar širenja i skupljanja, te Riccijev skalar R koji je mjera zakrivljenosti. Također, Riccijev skalar će opisivati režim zakrivljenosti odnosno energije, s obzirom da na visokim zakrivljenostima očekujemo da opća teorija relativnosti ne vrijedi zbog očekivanih kvantnomehaničkih učinaka. Nadalje, zahtijevamo da su parametri a , H i R uvijek konačni i dobro definirani kroz cijelu kozmološku epohu. U skladu s posljednjim zahtjevom pokazuje se nužnost modifikacije jednačbe opće teorije relativnosti – budući da se u standardnoj općoj teoriji relativnosti zbiva divergencija funkcija R i H u $a = 0$, te stoga uvodimo općenitu funkciju, $g(a, H, R)$, koja efektivno predstavlja modifikaciju opće teorije relativnosti na razini jednačbi gibanja. Time dobivamo iz (1) dinamički sustav [15]

$$\dot{a} = aH \tag{13}$$

$$\dot{H} = \frac{1}{6}(R - 12H^2) \tag{14}$$

$$\dot{R} = g(a, H, R), \tag{15}$$

gdje je $g(a, H, R)$ općenita funkcija koja ovisi o konkretnom teorijskom modelu modificirane teorije gravitacije. S obzirom da postoji čitav niz predloženih modifikacija opće teorije relativnosti, gornja analiza time predstavlja vrlo općenit put prema kategorizaciji teorija koje sadrže u sebi mogućnost cikličkog Svemira, zađajući svojstva koja takvi modeli moraju imati. Kako bi svi parametri bili konačni te kako bi predloženi dinamički sustav uistinu opisivao ciklički Svemir, faktor skale mora biti ograničena funkcija koja poprima svoju minimalnu i maksimalnu vrijednost od $a(t) = a_{min} > 0$ do $a(t) = a_{max}$. Također, dinamički sustav mora biti zatvoren, kako bi prikazivao periodički ciklički Svemir. Treba napomenuti kako su u načelu mogući i općenitiji modeli ne-periodičkog cikličkog Svemira, u kojima su detalji skupljanja i širenja različiti u svakom ciklusu, no takvim modelima se zbog jednostavnosti nećemo baviti na ovome mjestu. Primjer dinamičkog sustava (faznog portreta) jednog takvog cikličkog Svemira možemo vidjeti na slici 1. Dvije vrlo važne točke u faznom portretu cikličkog Svemira su točka u kojoj faktor



Slika 1: Na slici je prikazan fazni portret cikličkog Svemira gdje su varijable dane faktorom skale a , Hubbleovim parametrom H i Riccijevim skalarom R . Strijelica prikazuje smjer evolucije Svemira, a iscrtkana linija predstavlja pravac u kojem je $H = 0$, točke u kojima dani pravac presijeca evoluciju Svemira su točke obrata.

skale poprima svoju najmanju vrijednost i točka u kojoj on poprima maksimalnu vrijednost. Točku u kojoj je faktor skale u minimumu nazivat ćemo točkom Velikog odboja, a ona kojoj je faktor skale maksimalan nazivat ćemo „točkom obrta”.

Za obje točke vrijedi uvjet da je $H = 0$, što slijedi iz definicije Hubbleovog parametra, $H = \dot{a}/a$, gdje je vidljivo da on ovisi o vremenskoj derivaciji faktora skale, pa je iz teorema poznatih iz matematičke analize dovoljno da \dot{a} bude nula kako bi govorili o kandidatima za maksimum i minimum funkcije $a(t)$. Time nam je koristan pravac $H = 0$ koji odjeljuje fazu u kojoj se Svemir skuplja $H < 0$ i širi $H > 0$. Općenito, broj točaka obrta i Velikog odboja može biti proizvoljno velik, ipak iz razloga jednostavnosti usredotočit ćemo se na samo jednu točku obrta i jednu Velikog odboja u toku jednog ciklusa. U fazi velikog odboja očekujemo da je skalar zakrivljenosti (Riccijev skalar) maksimalan. Tu pretpostavku je prirodno postaviti uzmemo li u obzir da je u točki Velikog praska, u standardnoj kozmologiji, skalar zakrivljenosti beskonačan - te da se stoga povećava što joj se više približavamo. U istoj fazi vrijedi i $\dot{H} > 0$ te $\ddot{H} = 0$ ako se radi o maksimumu Riccijevog skalara. Gornje uvjete dobivamo iz jednadžbe (14)

$$\dot{H} = \frac{1}{6}(R - 12H^2) \implies \dot{H} \sim R, \quad \text{uz } H = 0, \quad (16)$$

a posljednji uvjet dobivamo deriviranjem jednadžbe (14) po vremenu

$$\ddot{H} = \frac{1}{6}(\dot{R} - 24H\dot{H}), \implies \ddot{H} = 0, \quad \text{uz } \dot{R} = 0, \quad H = 0, \quad (17)$$

gdje je korišten uvjet maksimalne vrijednosti Riccijevog skalara $\dot{R} = 0$ i $H = 0$ jer se radi o točki minimuma faktora skale. Ukratko možemo opisati evoluciju svake epohe na sljedeći način.

Svaki ciklus kreće od minimuma faktora skale $a(t_{odboj}) = a_{min}$, maksimuma zakrivljenosti $R(t_{odboj}) = R_{maks}$ i $H = 0$, nakon toga slijedi faza širenja za koju vrijedi $\dot{H} > 0$, $\dot{a} > 0$ te $\dot{R} < 0$. Nakon širenja Svemira slijedi točka u kojoj faktor skale postiže svoju maksimalnu vrijednost a_{maks} , gdje je također $H = 0$, te tu točku nazivamo točkom obrta. Sada smo u fazi skupljanja Svemira $H < 0$, Svemir se skuplja do minimuma faktora skale a_{min} u kojem se događa Veliki odboj, te se ti ciklusi nastavljaju odvijati beskonačno mnogo puta. Zanimljivo je što iz gornjih razmatranja možemo postaviti neke općenite uvjete nad funkcijom $g(a, H, R)$. Ta funkcija je određena teorijskim modelom, te postavljanje uvjeta nad funkcijom $g(a, H, R)$ znači i postavljanje ograničenja za mogućnost ostvarivanja cikličkog Svemira u takvim teorijama. Neka od tih ograničenja je moguće iskazati sljedećim teoremima, koji su prvi puta predloženi, detaljno diskutirani i primijenjeni na niz konkretnih modela u radu [15]: Pretpostavimo da je neka gravitacijska teorija određena funkcijom $g(a, H, R)$, koja vodi na dinamički sustav (13)-(15) koji je invarijantan s obzirom na transformaciju $g(a, H, R) = -g(a, -H, R)$. Ako $a^*, H^* = 0$ i

$R^* = 0$ određuje centar, određen linearnom teorijom stabilnosti, tada postoji neiščezavajuća okolina oko te točke za koju sve putanje unutar te okoline odgovaraju cikličkim kozmološkim rješenjima. Zahtijevamo li vremensku inverziju $t \rightarrow -t$ tada primjećujemo da $H \rightarrow -H$ i $R \rightarrow R$, dok je a nužno pozitivan. Takvi uvjeti definiraju ciklička kozmološka rješenja u odnosu na neku točku. Upotrijebimo li vremensku inverziju nad dinamičkim sustavom (13)-(15) vidimo da on ostaje invarijantan s obzirom na vremensku inverziju. Nadalje, iz poznatih teorema dinamičkih sustava, dovoljno je pokazati postojanje centra u sustavima s vremenskom inverzijom kako bi sustav bio stabilan s obzirom na nelinearne popravke, time osiguravajući zatvorene orbite oko fiksne točke (centra).

4 Ciklički Svemir kao moguća posljedica kvantnih popravki na Einsteinovu gravitaciju

Uronimo li dublje u principe opće teorije relativnosti u okviru kvantnih učinaka uočavamo vrlo brzo nagovještaje kako se i u okvirima fizikalne kozmologije nameće cikličnost Svemira, odnosno njegova beskonačnost u prostornom ali i vremenskom smislu. Ipak, u modeliranju cikličkih Svemira se nećemo baviti nikakvim konkretnim hipotetskim teorijama kvantne gravitacije, s jedne strane zbog njihove nepotpunosti, a s druge strane budući da nema eksperimentalnih uvida koji bi potvrđivali niti jedan od predloženih modela. Ovdje ćemo pretpostaviti da na današnjim kozmološkim skalama približno vrijedi opća teorija relativnosti, dok u režimima visokih zakrivljenosti (energija) opća teorija relativnosti mora biti modificirana dodavanjem novih članova u akciju koji će biti predstavljeni višim redovima Taylorovog razvoja. Na taj način akciju možemo izraziti kao neku općenitu funkciju $f(R)$, za koju ćemo pretpostaviti da je analitična, te koja efektivno prikazuje kvantne učinke na višim zakrivljenostima. Modificirana akcija će tada postati [21]

$$S = \frac{1}{2\kappa} \int \sqrt{-g} f(R) d^4x, \quad (18)$$

gdje funkciju $f(R)$ možemo pisati kao red oko neke točke R_0 [20]

$$f(R) = c_0 + \frac{c_1}{1!}(R - R_0) + \frac{c_2}{2!}(R - R_0)^2 + \mathcal{O}(R - R_0^3) + \dots \quad (19)$$

gdje su c_i konstante koje moraju biti u skladu sa standardnim testovima, odnosno eksperimentalnim provjerama teorije gravitacije. Potrebno je posebno napomenuti kako detalji ovog razvoja u red općenito neće biti identični za svaku situaciju, odnosno svaki režim zakrivljenosti/energije. To već u načelu proizlazi iz

prirode ovog reda kao sume efektivnih korekcija, koje neminovno ovise o prirodi razmatranog problema, a ne kao neke potpune teorije kvantne gravitacije koja bi bila dana integralom (18). Također je iskustvo do kojega dolazimo u kvantnim teorijama polja da su koeficijenti teorije tipično ovisni o energetske skali problema, a nisu naprosto fiksni. Iz tih razloga ove koeficijente razvoja u red treba zapravo shvaćati kao funkcije koje blago ovise o zakrivljenosti, a za koje je smisljeno pretpostaviti da se mogu tretirati kao konstante u danom režimu zakrivljenosti. Na temelju usporedbe sa standardnom općom teorijom relativnosti uzimamo $c_0 = -2\Lambda$, a $c_1 = 1$, dok ostali parametri ostaju slobodni. Variramo li akciju (18) dobivamo mnogo kompleksnije jednačbe gibanja, u odnosu na one opće teorije relativnosti

$$\frac{df}{dR} R^{\mu\nu} - \frac{1}{2} f(R) g^{\mu\nu} - (\nabla^\mu \nabla^\nu - g^{\mu\nu} \square) \frac{df}{dR} = \kappa T^{\mu\nu}, \quad (20)$$

gdje je ∇^μ kovarijantna derivacija u općoj teoriji relativnosti, a $\square = \nabla_\mu \nabla^\mu$. Prikazane jednačbe nam omogućuju bogatiju dinamiku FLRW prostorvremena, bez uvođenja novih polja materije.

4.1 Veliki odboj

Najprije krećemo od tzv. "Velikog odboja" (eng. Big Bounce) koji predstavlja vremensku točku u kojoj je Svemir bio najmanji. Pod pojmom najmanji misli se da je faktor skale $a(t_{odboj})$ imao minimalnu vrijednost u odnosu na svoju čitavu kozmološku epohu. Valja još jednom naglasiti da iako je faktor skale bio najmanji to i dalje znači da je Svemir u cjelini beskonačan za $k = 0$. Veliki odboj predstavlja ujedno i jedan od najvažnijih koncepata u cikličkoj kozmologiji, budući da se tu teorija Velikog praska i cikličkog Svemira eksplicitno razilaze. U teoriji Velikog praska ta točka je ujedno i početak Svemira te se ne može govoriti o vremenu prije tog trenutka, dok u cikličkoj kozmologiji ona je samo jedan poseban trenutak u kojoj je faktor skale $a(t)$ bio najmanji. U tom režimu očekujemo vrlo velike energije, te se često ističe da opća teorija relativnosti više ne vrijedi na tim skalama. Poznati Hawkingovi teoremi također daju nagovještaj o mogućoj neadekvatnosti opće teorije relativnosti, gdje upravo iz tih teorema nužno slijede patološke beskonačnosti promatramo li vremensku evoluciju unatrag prema prošlosti. Jedan od načina kako riješiti problematiku jest formulirati teoriju gravitacije na razini kvantnomehaničkih učinaka, odnosno osnivati kvantnu teoriju gravitacije. Iako se taj korak čini općenito nužan u razumijevanju prirode, on je izvanredno težak, te do danas nema općeprihvaćene kvantne teorije gravitacije.

Kao što je ranije rečeno, u proučavanju Velikog odboja koristit ćemo dodatne članove Taylorovog razvoja $f(R)$ koji će biti dodani ovisno o režimima u kojima se problematika odvija. Tako npr. oko Velikog odboja očekujemo vrlo visoke energije, koje ćemo po pretpostavci poistovjetiti s visokim zakrivljenostima, iz čega slijedi da na tim energijama moramo uzimati u obzir više redove u skalaru zakrivljenosti.

Iz FLRW metrike možemo jednostavno izračunati skalar zakrivljenosti

$$R = 6(\dot{H} + 2H^2), \quad (21)$$

izražen preko Hubbleovog parametra H , gdje je $H = \dot{a}/a$. Uzmimo da se veliki odboj dogodio u nekom trenutku t_0 , mjereno od nekog proizvoljnog trenutka, te ako je $d > 0$ vremenski parametar, tada slijede navedene relacije

$$H(t_0 - d) < 0, \quad H(t_0 + d) > 0, \quad H(t_0) = 0 \quad \text{ako} \quad |d - t_0| < |t_{max} - t_0|, \quad (22)$$

gdje je t_{max} trenutak u kojem faktor skale poprima maksimalnu vrijednost. Iz jednostavnosti pretpostavit ćemo simetričnost oblika

$$H(t_0 - d) = -H(t_0 + d). \quad (23)$$

Po pretpostavci o velikim zakrivljenostima u trenutku t_0 slijedi da skalar zakrivljenosti mora poprimiti maksimalnu vrijednost $R_{max} = R(t_0)$, te ga se može razviti u red oko malog intervala $|t - t_0| \ll 1$

$$R = R_{max} + \frac{R_2}{2!}(t - t_0)^2 + \frac{R_3}{3!}(t - t_0)^3 + \mathcal{O}(t - t_0)^4 + \dots \quad (24)$$

gdje linearni član iščezava zbog pretpostavke o maksimumu. Iz prethodne formule možemo nešto zaključiti o FLRW metrici oko velikog odboja, odnosno za mali interval $|t - t_0| \ll 1$ približno vrijedi

$$6(\dot{H} + 2H^2) = R(t_0) \sim R_{max}, \quad (25)$$

što je jednačba koja ima analitičko rješenje [7]

$$H(t) = \frac{\sqrt{R_{max}}}{2\sqrt{3}} \tanh\left(\frac{\sqrt{3R_{max}}t - C}{3}\right), \quad (26)$$

gdje je C slobodna integracijska konstanta koja se može odrediti tako da zadovo-

ljava (22). Iz ove jednostavne geometrijske analize proizlazi da je sasvim prirodno očekivati Veliki odboj na tim energijama za FLRW metrikju, no ipak treba imati u vidu da tek jednađbe polja u teoriji gravitacije moraju dati takva rješenja kako bi uistinu govorili o Velikom odboju. Iz Hawkingovih teorema zapravo slijedi obrnuti zaključak, budući da se u tim režimima javlja singularitet, odnosno skalar zakrivljenosti postaje beskonačan. U skladu s tim sljedeći korak je analizirati jednađbe gibanja u režimu Velikog odboja koje slijede iz (20). Kako bi imali bolje formalno podudaranje s Λ CDM kozmologijom možemo napisati razvoj (19) u obliku

$$f(R) = -2\Lambda + \sum_{i=1}^{\infty} c_i(R)(R/R_{max})^i, \quad (27)$$

gdje je konstantni član $c_0 = -2\Lambda$, a koeficijenti $c_i/i!$ prelaze u $c_i R_{max}^i$. U režimu oko Velikog odboja jednađbe gibanja (20) se mogu napisati na način

$$\begin{aligned} 3H(t)^2 \sum_{n=0}^N c_n n R(t)^{n-1} &= \rho(t)_{mat} + \rho(t)_{rad} \\ &+ \frac{1}{2} [R(t) \sum_{n=0}^N c_n n R(t)^{n-1} - \sum_{n=0}^N c_n R(t)^n] \\ &- 3H(t) \sum_{n=0}^N c_n (n-1) n R^{n-2} \dot{R}(t), \quad (28) \end{aligned}$$

gdje smo uveli gustoću energije materije i zračenja ρ_{mat} i ρ_{rad} koje zadovoljavaju jednađbe stanja

$$p = w\rho, \quad (29)$$

gdje je $w = 0$ za materiju, a $w = 1/3$ za zračenje. Jednađba (28) je vrlo kompleksna jednađba čije rješenje je rekurzivna formula za n -ti član takvog reda. Međutim, pretpostavili smo da se $f(R)$ funkcija počinje razlikovati od R tek na visokim zakrivljenostima, gdje je ta razlika modelirana na način što se aktiviraju doprinosi viših članova zakrivljenosti. Tako oko Velikog odboja pretpostavljamo da je dovoljno uzeti popravke do trećeg reda (treću potenciju u R) kako bi se modelirao pripadni režim. Moguće je uvesti i više redove potencija ali taj pristup samo uvodi dodatne parametre te fizikalno se ništa ne mijenja. Svrha je pokazati da je model cikličkog Svemira moguć već iz vrlo jednostavnih, ali opravdanih fizikalnih koncepcija uvedenih u ovom poglavlju. Valja naglasiti da u epohi Velikog odboja gustoća energije materije, kao i zakrivljenost, poprimaju maksimalne vrijednosti, budući da je materija proporcionalna a^{-n} gdje je $n = 3$ ili $n = 4$ ovisno o tome radi li se o hladnoj materiji ili radijaciji. Ipak, pretpostavit ćemo da su učinci zakrivlje-

nosti (gravitacijski učinci) dominantni u toj epohi, kao i u skladu s vrijednostima kozmoloških parametara opaženih danas. Rezultat gornjih uvjeta nas dovode do nejednadžbe

$$\rho_{mat}^{max} + \rho_{rad}^{max} \ll \frac{1}{2} \left(f_R(R_{max}) - f(R_{max}) \right) - 3H(t_0) \left. \frac{df_R(R)}{dt} \right|_{R=R_{max}}, \quad (30)$$

koju smo izveli iz jednadžbe gibanja (20) za FLRW metriku.

Krenimo sada od konkretnog modela, uzimajući u obzir kako je ranije bilo napomenuto da je dovoljno uzeti red potencija u $f(R)$ do trećeg stupnja u svrhu postizanja dobro definiranog Velikog odboja. Tu funkciju možemo napisati na sljedeći način

$$f(R) = -2\Lambda + \tilde{c}_1 R + \tilde{c}_2 R^2 + \tilde{c}_3 R^3, \quad (31)$$

gdje su $\tilde{c}_i = c_i/R_{max}$, a kako bi bili u skladu s opažanjima Λ CDM kozmologijom zahtijevamo da je Λ trenutna kozmološka konstanta, a $\tilde{c}_1 = 1$. Riccijev skalar možemo razviti do četvrtog reda u vremenu

$$R = R_{max} + \frac{R_2}{2}(t - t_0)^2 + \frac{R_3}{6}(t - t_0)^3 + \frac{R_4}{24}(t - t_0)^4, \quad (32)$$

te zahtjevom da jednadžbe gibanja budu konzistentne s gore odabranim funkcijama. Tako dobivamo [7]

$$R_4 = -\frac{R_2(3\Lambda - 1 + 45\Lambda R_2 - 24R_2 + 324\Lambda R_2^2)}{18(3\Lambda - 1)}, \quad (33)$$

$$c_2 = \frac{3\Lambda + 36\Lambda R_2 - 2}{1 - 12R_2}, \quad (34)$$

$$c_3 = \frac{-2\Lambda - 12\Lambda R_2 + 1}{1 - 12R_2}. \quad (35)$$

Ovu gore navedenu metodologiju traženja rješenja u režimu Velikog odboja nazivamo perturbativnom metodom.

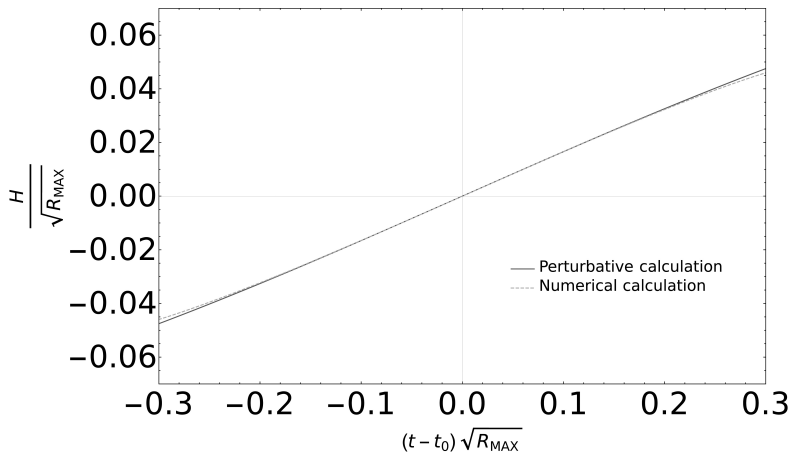
Nasuprot perturbativnoj metodi postoje numeričke metode, te u svrhu konzistentnosti te kako bi rezultati imali bolju vjerodostojnost, koristit ćemo se i numeričkim računima. Numeričkim računom nastojimo „egzaktno riješiti” cijele jednadžbe gibanja bez da ih režemo perturbativnim aproksimacijama. Ipak, valja naglasiti da su u suštini gornje metode vrlo bliske po svojoj metodologiji s obzirom na to da i numerički izračun zahtijeva zaustavljanje procesa izračuna do

„prihvatljive tolerancije”. Jednadžba koju računamo numeričkim putem je

$$3H(t)^2 \frac{df}{dR} - \frac{1}{2} \left(R(t) \frac{df}{dR} - f(R) \right) + 3H(t) \frac{d^2f}{dR^2} \dot{R}(t) = 0, \quad (36)$$

gdje je $f(R)$ dan do trećeg reda kao i u perturbativnom slučaju, a Riccijev skalar i Hubbleov parametar se numerički moraju izračunati iz zadane diferencijalne jednadžbe. Početne uvjete koje namećemo diferencijalnoj jednadžbi su $H(t_0) = 0$ koji predstavlja zahtjev da se uistinu radi o Velikom odboju (minimumu faktora skale), te $R(t_0) = R_{max}$.

Rezultate takvih izračuna predstavljamo na slikama 2 i 3 gdje su prikazana ponašanja Hubbleovog parametra H i Riccijevog skalara R oko Velikog odboja. Vid-

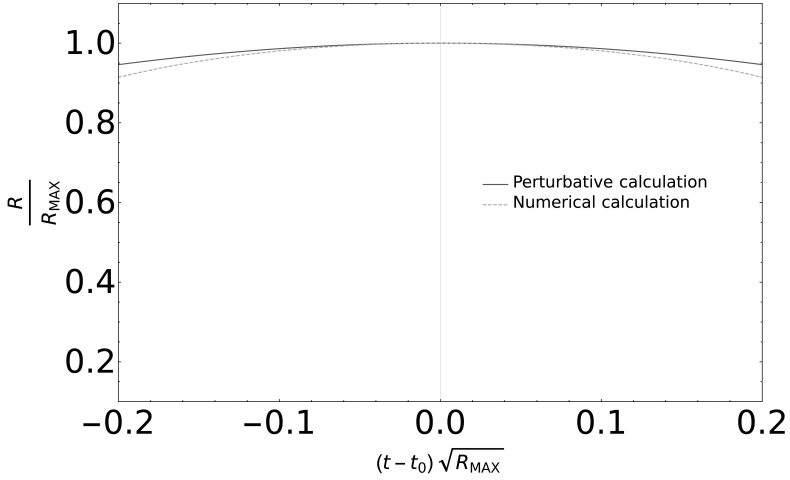


Slika 2: Na slici je punom linijom prikazano ponašanje Hubbleovog parametra u režimu Velikog odboja za $\Lambda = 0.0005$ i $R_2 = -2$, dok je numeričko rješenje dano iscrtkanom linijom.

ljivo je da što smo bliže $t = t_0$ to se rješenja bolje podudaraju, što i mora biti s obzirom na to da se cijela perturbativna analiza temelji na području oko Velikog odboja. Idemo li dalje od točke $t = t_0$ time se počinju numerička i perturbativna rješenja znatno razlikovati.

4.2 Faza standardne Λ CDM kozmologije i faza kontrakcije

Kada govorimo o fazi standardne Λ CDM kozmologije tada mislimo na fazu današnjeg opažanja širenja Svemira koja je opisana Λ CDM teorijom. Time je zadatak modificirane gravitacije pokazati i opravdati njenu valjanost u današnjoj fazi Svemira. Iz toga slijedi da se jednadžbe modificirane gravitacije moraju poklapati



Slika 3: Na slici je punom linijom prikazana evolucija Riccijevog skalara u režimu Velikog odboja za $\Lambda = 0.0005$ i $R_2 = -2$, dok je numeričko rješenje dano iscrtkanom linijom.

s onima iz Λ CDM teorije. Taj prijelaz se lako dobiva pod pretpostavkom da danas živimo u kozmičkom vremenu kada je Riccijev skalar zakrivljenosti mali, $R \ll 1$. Tada možemo sve više redove u Riccijevom skalaru zanemariti te dobivamo

$$f(R) = -2\Lambda + R, \quad (37)$$

što je upravo Einstein–Hilbertova akcija s kozmološkom konstantom koja se u potpunosti poklapa s Λ CDM teorijom. Također, koeficijenti c_i su efektivno funkcije vremena (vidjeti diskusiju na stranici 32), međutim zbog malih iznosa Riccijevog skalara R modelirat ćemo akciju tako da je sva vremenska ovisnost dana u $\Lambda(t)$. Budući da su varijacije po vremenu vrlo male $\Lambda(t)$ se može smatrati približno konstantnom funkcijom u današnjoj epohi. Jednadžba (37) opisuje ubrzano širenje svemira kakvog danas opažamo. Ipak, koliko god vremenska varijacija $\Lambda(t)$ bila mala možemo iz Friedmannovih jednadžbi za (37) dobiti ponašanje parametra jednadžbe stanja za tamnu energiju

$$w_{eff}(t) = -\frac{1}{3} \frac{R(t) \left(1 - \frac{\dot{\Lambda}(t)}{R(t)} - \frac{\Lambda(t)}{R(t)} \right) - 6 \left(\frac{\ddot{\Lambda}(t)}{R(t)} - \frac{\dot{\Lambda}(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)} \right) H(t)}{\Lambda(t) - R(t) \frac{\dot{\Lambda}(t)}{R(t)} + 6 \left(\frac{\ddot{\Lambda}(t)}{R(t)} - \frac{\dot{\Lambda}(t)\dot{R}(t)}{R^2(t)} \right) H(t)}. \quad (38)$$

Vidljivo je da za $\Lambda \sim \text{konstanta}$ parametar w prelazi u -1 što je jednadžba stanja standardne Λ CDM kozmologije.

Zanimljivo je što nakon dovoljno dugo vremena Svemir postaje toliko raširen da ga možemo smatrati približno praznim. Pretpostavljamo da tada ulazi u novi fazu svog života koju nazivamo „Velikim cijepanjem”, nakon čijeg završetka se Svemir počinje polako skupljati. Ipak, u ovom modelu, za razliku od ostalih predložениh modela [22, 23], faktor skale ostaje konačan. Iz sačuvanja tenzora energije i impulsa dobivamo jednadžbu

$$\dot{\rho}_{eff}(t) + \frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \rho_{eff}(t) (1 + w_{eff}(t)) = 0, \quad (39)$$

gdje je

$$\rho_{eff} = \frac{1}{\kappa \left(1 - \frac{2\dot{\Lambda}(t)}{\dot{R}(t)}\right)} \left[\Lambda(t) - R(t) \frac{\dot{\Lambda}(t)}{\dot{R}(t)} + 6 \left(\frac{\ddot{\Lambda}(t)}{\dot{R}(t)} - \frac{\dot{\Lambda}(t)\ddot{R}(t)}{\dot{R}^2(t)} \right) H(t) + \kappa \rho \frac{2\dot{\Lambda}(t)}{\dot{R}(t)} \right], \quad (40)$$

$$\begin{aligned} p_{eff} = & -\frac{1}{3\kappa \left(1 - \frac{2\dot{\Lambda}(t)}{\dot{R}(t)}\right)} \left[R(t) \left(1 - \frac{\dot{\Lambda}(t)}{\dot{R}(t)} - \frac{\Lambda(t)}{R(t)}\right) \right. \\ & \left. - 6 \left(\frac{\ddot{\Lambda}(t)}{\dot{R}(t)} - \frac{\dot{\Lambda}(t)\ddot{R}(t)}{\dot{R}^2(t)} \right) H(t) - \kappa \left(\rho - 3p \left(1 - \frac{2\dot{\Lambda}(t)}{\dot{R}(t)}\right) \right) \right]. \quad (41) \end{aligned}$$

Ako bi w_{eff} bio približno konstantan tada jednadžba 39 postaje

$$\dot{\rho}_{eff} + \frac{\dot{a}}{a} (1 + w_{eff}) \rho_{eff}(t) = 0, \quad (42)$$

čije rješenje bi glasilo

$$\rho_{eff} = a^{-(1+w_{eff})}. \quad (43)$$

Međutim, ako je $w_{eff} < -1$ tada primjećujemo da ρ_{eff} neprestano raste, što interpretiramo kao rast efektivne gustoće energije u Svemiru. Taj rast je u stanju da u jednome trenutku dovede do razdvajanja svih vezanih sustava. Kada bi $w < -1$ bio egzaktno konstantan tada se često u literaturi spominje kao pojam „fantomske” energije. Naš pristup se ne ograničava na fantomski slučaj nego pretpostavlja da w_{eff} efektivno ovisi o vremenu kao efektivni oblik dinamike korekcija na opću teoriju relativnosti. Ovisnost o vremenu samo je nužna posljedica pretpostavljene ovisnosti Λ o Riccijevom skalaru, budući da je R na FRWL prostorvremenu zbog simetrija nužno funkcija samo od vremena.

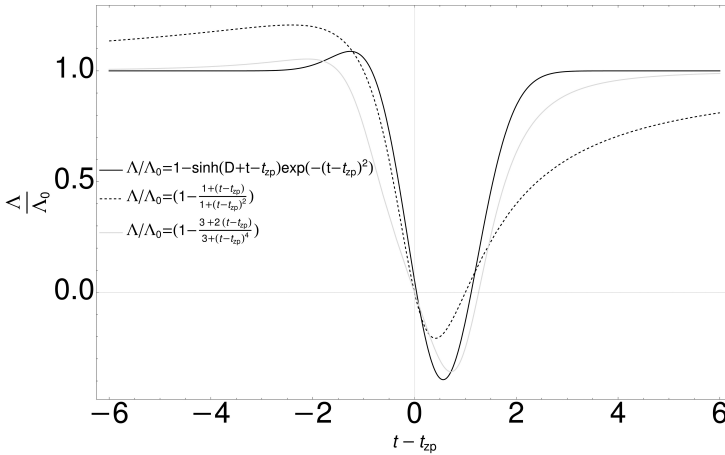
Kako bi imali prijelaz iz faze širenja Svemira $H(t) > 0$ u fazu kontrakcije $H(t) <$

0 moraju biti zadovoljeni sljedeći uvjeti

$$\frac{\Lambda(t_{max})}{\dot{\Lambda}(t_{max})} = \frac{R(t_{max})}{\dot{R}(t_{max})}, \quad (44)$$

$$\rho_{eff}(t_{max}) + 3p_{eff}(t_{max}) > 0, \implies w_{eff}(t_{max}) > -1/3. \quad (45)$$

Time je vidljivo da nije moguće dobiti ciklički Svemir dodavanjem materija s konstantnim w , nego parametar w mora ovisiti o vremenu tako što mora poprimiti vrijednosti od $w < -1$ do $w > -1/3$. Postoji beskonačan skup funkcija $\Lambda(t)$ koji može zadovoljiti tražena svojstva, no radi jednostavnosti ograničiti ćemo se na nekoliko njih sa sljedećim dodatnim svojstvima i) $\lim_{t \rightarrow \infty} \Lambda(t) = \Lambda_0 = \text{konstanta}$, ii) $\lim_{t \rightarrow 0} \Lambda(t) = \Lambda_0$, iii) $\dot{\Lambda}(t) > 0$ for $t_{danas} < t < t_{rip}$, iv) $\Lambda(t) \approx c(t - t_{nul})$ za $|t - t_{rip}| \ll |t_{rip} - t_{danas}|$, gdje je c neki proizvoljan realan broj, a t_{nul} označava vremenski trenutak kada je $\Lambda = 0$. Neke od tih funkcija npr. mogu biti $\Lambda_0 \left(1 - \frac{1+(t-t_{nul})}{1+(t-t_{nul})^2}\right)$, $\Lambda_0(1 - \sinh(\ln(1 + \sqrt{2}) + (t - t_{nul}))e^{-(t-t_{nul})^2}) \dots$ te pozivamo čitatelja da sam konstruira slične funkcije s istim svojstvima. Primjeri tih funkcija predstavljamo na slici 4. Valja također proučiti Einsteinove jednačbe u tom re-



Slika 4: Primjeri funkcija $\Lambda(t)$ koje zadovoljavaju uvjete i) $\lim_{t \rightarrow \infty} \Lambda(t) = \Lambda_0 = \text{konstanta}$, ii) $\lim_{t \rightarrow 0} \Lambda(t) = \Lambda_0$, iii) $\dot{\Lambda}(t) > 0$ for $t_{danas} < t < t_{rip}$, iv) $\Lambda(t) \approx c(t - t_{nul})$ for $|t - t_{rip}| \ll |t_{rip} - t_{danas}|$, gdje je $D = \ln(1 + \sqrt{2})$.

žimu, gdje za $\lim_{t \rightarrow \infty} \Lambda(t) = \Lambda_0$ dobivamo

$$H^2 = \frac{\Lambda_0}{3}, \quad (46)$$

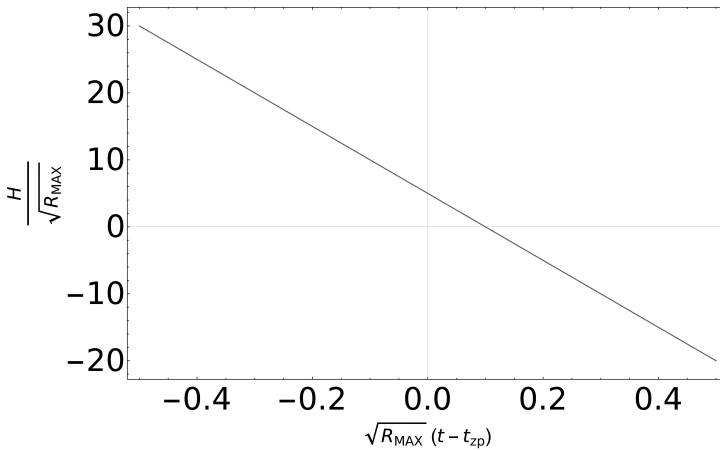
dok oko t_{nul} možemo uvesti aproksimaciju $\Lambda(t) = c(t - t_{nul})$ iz čega slijedi Einste-
inova jednačnja

$$6\dot{R}H^2 = c \left(6\frac{\dot{R}}{R}H + 6H^2 - R + \dot{R}(t - t_{zp}) \right). \quad (47)$$

Gornja jednačnja se može riješiti uz $H(t) = A(t - t_{nul}) + B$ gdje vrijedi

$$A = -2B^2, \quad c = -48B^3. \quad (48)$$

Na slikama 5 i 6 su dana ponašanja Hubbleovog parametra i faktora skale.



Slika 5: Vremenska evolucija Hubbleovog parametra, $H(t)$, u blizini maksimuma faktora skale u fazi cijepanja, izračunat iz (47) za $B = 5$.

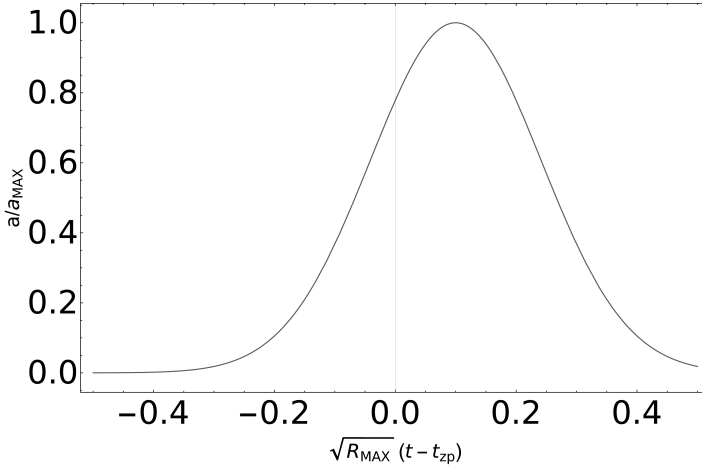
4.3 Prijelaz u novi odboj

Sada smo u fazi kada se Svemir skuplja te se time javljaju opet viši redovi u Ricci-
jevom skalaru jer se zakrivljenost postepeno povećava. Najprije se javlja kvadratični
član R^2 te akcija postaje

$$f(R) = -2\Lambda + c_1R + c_2R^2. \quad (49)$$

Kao i ranije mnogo rješenja može dovesti do opisa skupljanja Svemira, no iz jed-
nostavnosti pretpostavit ćemo oblik Hubbleovog parametra na sljedeći način

$$H(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t - t_{kraj})^i + H_{kraj}, \quad (50)$$



Slika 6: Vremenska evolucija faktora skale $a(t)$, u blizini maksimuma u fazi cijepanja za $B = 5$.

gdje je t_{kraj} je trenutak kada završava faza Velikog cijepanja, te Hubbleov parametar mora biti manji od nule $H(t_{kraj}) < 0$ zbog smanjivanja faktora skale (prisjetimo se $H(t) = \dot{a}/a$). Također, Riccijev skalar zakrivljenosti je bio negativan na kraju faze cijepanja, te dobivamo uvjet $A_1 < -2H(t_{kraj})^2$. Koristeći modificirane Friedmannove jednadžbe (20) uz kvadratični model (49) dobivamo jednadžbe

$$3H^2(t)[c_1 + 2c_2(6\dot{H}(t) + 12H^2(t))] = \frac{c_2}{2}[6\dot{H}(t) + 12H^2(t)]^2 + \Lambda - 6H(t)c_2[6\ddot{H}(t) + 24\dot{H}(t)H(t)]. \quad (51)$$

Rješavajući (51) s pokratom (50) za najjednostavniji slučaj $N = 1$, dobivamo

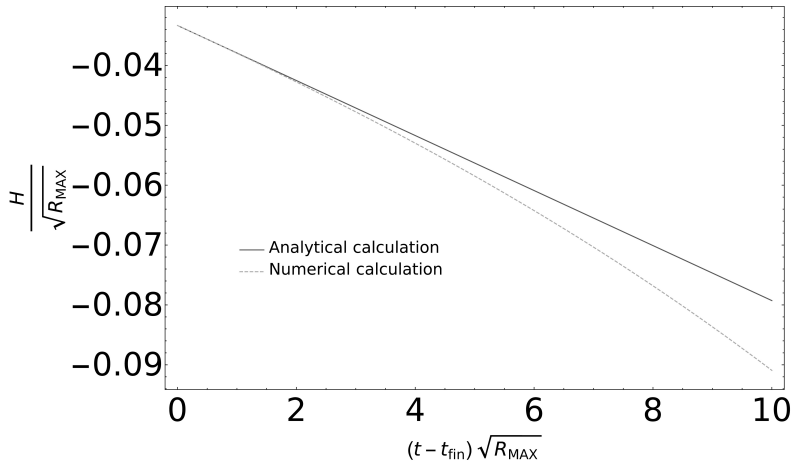
$$c_1 = \frac{2\Lambda}{A_1}, \quad (52)$$

$$c_2 = -\frac{\Lambda}{18A_1}. \quad (53)$$

Dobivena rješenja predstavljamo na slikama: 7, 8 and 9, gdje su korištena numerička i perturbativna metoda u pronalaženju rješenja jednadžbi gibanja.

Nakon što Riccijev skalar zakrivljenosti naraste do dovoljno velikih vrijednosti tada se uključuju i viši redovi potencija u Taylorovom razvoju funkcije $f(R)$. Time postepeno dolazimo do novog odboja koji je opisan u prvom potpoglavlju Veliki odboj. Na taj način, Svemir vječno titra počevši od Velikog odboja do današnje

epohe nakon koje slijedi faza Velikog cijepanja i faza skupljanja, koja pak otvara put do novog Velikog odboja.

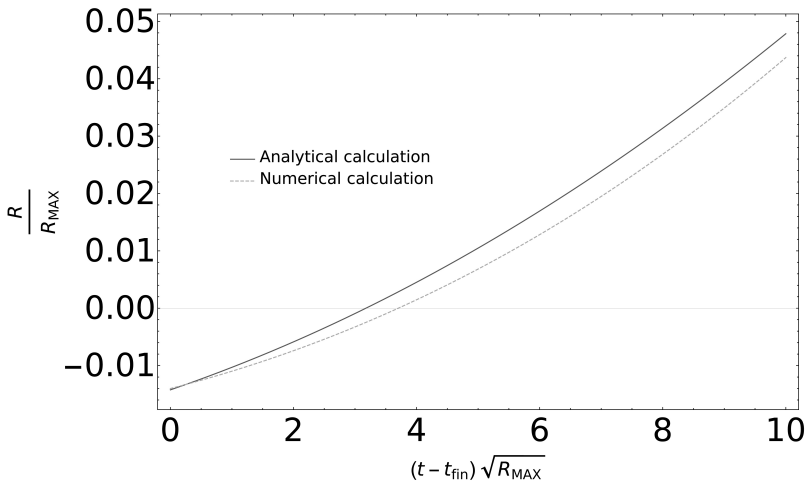


Slika 7: Vremenska evolucija Hubbleovog parametra $H(t)$ u fazi tranzicije prema novom Velikom odboju dobivena iz jednadžbe (50), s parametrima $A_1 = -0.005$, $H_{\text{kraj}} = -0.03$ s $N = 1$. Numeričko rješenje (iscrtkana linija) dobiveno je rješavanjem (51) s parametrima $\Lambda = 0.01$, $A_1 = -0.005$, $H_{\text{kraj}} = -0.03$, koristeći (52) i (53).

5 Ciklički Svemir i entropija

Rasprava o odnosu ideje cikličkog Svemira i problema rasta entropije prelazi okvire ovoga rada, te svakako zaslužuje poseban članak. Međutim, zbog učestalog spominjanja ovoga motiva u diskusijama o cikličkom Svemiru, ovdje ćemo se samo kratko osvrnuti na neke osnovne aspekte ovog pitanja.

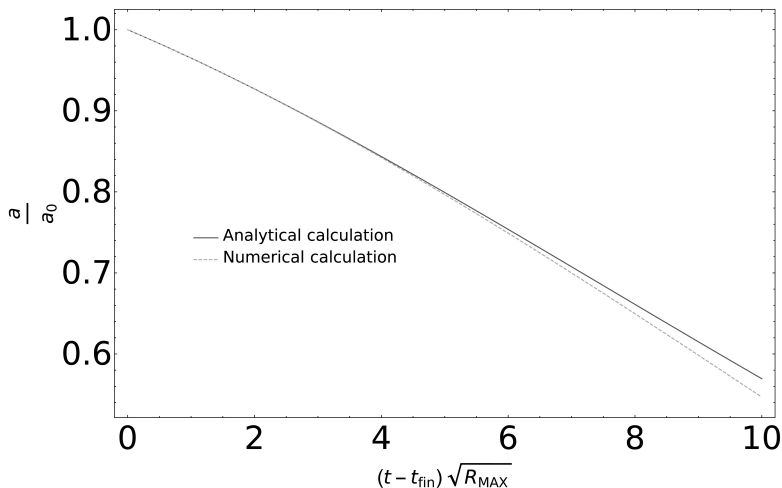
Često se može naići na tvrdnju kako je "ciklički Svemir u sukobu s drugim zakonom termodinamike, odnosno principom porasta entropije" ili barem da je pomirenje cikličkog Svemira i principa rasta entropije na neki način problematično. Ova je tvrdnja u ovom općenitom obliku svakako netočna - radi se zapravo o problemima s entropijom u okviru prvoga fizikalnog modela cikličkog Svemira, Tolmanovog singularnog modela cikličkog Svemira [16]. Navedeno nipošto ne vrijedi za koncepciju cikličkog Svemira općenito. Konkretno, u Tolmanovom modelu, Svemir je konačan i pozitivne zakrivljenosti, $k = 1$, te se veličina njegovog radijusa može povezati s iznosom entropije: kako entropija raste između ciklusa, tako raste i radijus Svemira. Promatrajući tu evoluciju unatrag, došli bi do zaključka da u prošlosti radijus Svemira postaje proizvoljno malen, time dovodeći zapravo do



Slika 8: Vremenska evolucija Riccijevog skalara zakrivljenosti $R(t)$ u fazi tranzicije prema novom Velikom odboju dobivena iz jednačbe (50), s parametrima $A_1 = -0.005$, $H_{kraj} = -0.03$ s $N = 1$. Numeričko rješenje (iscrtkana linija) dobiveno je rješavanjem (51) s parametrima $\Lambda = 0.01$, $A_1 = -0.005$, $H_{kraj} = -0.03$, koristeći (52) i (53).

Velikog praska. Ovi zaključci svakako neće vrijediti za općenite modele cikličkog Svemira, posebno ne za one gdje je $k = 0$, budući da je u njima u svakom ciklusu Svemir beskonačan i da stoga pojam njegovog radijusa u takvim modelima nema nikakvog smisla. No, Tolmanov model je već očito problematičan i zbog toga što ne rješava problem singularnosti.

Kritika cikličkog Svemira na temelju principa porasta entropije mogla bi se, međutim, onda pokušati postaviti u nešto blažem obliku: kako entropija mora rasti između ciklusa, a Svemir postoji beskonačno dugo, slijedi da bi nakon nekog vremena Svemir degenerirao u stanje tako velike entropije koje bi onemogućilo postojanje bilo kakvih uređenih struktura, suprotno onome što opažamo u Svemiru. Ovaj je prigovor na načelnoj razini također neodrživ zbog niza razloga koje ćemo redom diskutirati (premda u slučaju nekih konkretnih modela ovaj prigovor može biti relevantan). Prvo, kao i u ranijem pokušaju kritike, osnovni konceptualni problem korištenja porasta entropije kao argumenta sastoji se u problematičnosti njegovog epistemološkog statusa kao i mogućnosti njegove primjene na kozmologiju. Sasvim je pogrešno u tendencijskom principu porasta entropije promatrati univerzalni teleološki zakon, koji vrijedi po sebi i može se automatski primjenjivati na svaku pojavu bez ulaženja u detalje procesa koji se zbivaju. Za razliku od ostalih fizikalnih principa, ideja porasta entropije je čisto statistička u svojoj na-



Slika 9: Vremenska evolucija faktora skale $a(t)$ u fazi tranzicije prema novom Velikom odboju dobivena iz jednadžbe (50), s parametrima $A_1 = -0.005$, $H_{kraj} = -0.03$ s $N = 1$. Numeričko rješenje (iscrtkana linija) dobiveno je rješavanjem (51) s parametrima $\Lambda = 0.01$, $A_1 = -0.005$, $H_{kraj} = -0.03$, koristeći (52) i (53).

ravi: u evoluciji sistema vjerojatnije je da će se ostvariti ona stanja koja imaju veći broj realizacija. Međutim, razumijevanje faznog prostora dopuštenih realizacija moguće je samo poznavanjem odgovarajućih jednadžbi gibanja, odnosno interakcija koje su na djelu u danom sustavu. U skladu s time, bez detaljnog poznavanja statističkog prostora stanja mogućih realizacija, sasvim je neopravdano zaobilaziti detaljnu analizu jednadžbi gibanja pozivanjem na apriornu formulu "entropija mora rasti", što je primjer pretvaranja jednog principa u lošu metafiziku, suprotstavljenu ozbiljnom fizikalnom razumijevanju. U pogledu preciznog razumijevanja toga što bi zapravo značio pojam porasta entropije u kontekstu općenite kozmologije, odnosno evolucije Svemira kao četverodimenzionalnog prostorvremenskog kontinuuma, stvari stoje prilično nezahvalno. Nije sasvim jasno kako dati precizan matematički kovarijanti izraz rastu entropije na proizvoljnoj četverodimenzionalnoj prostornovremenskoj mnogostrukosti. S opažачke strane, navivna primjena ovih termodinamičkih ideja također zapada u teškoće: spektar mikrovalnog pozadinskog zračenja koji se odlično poklapa sa zračenjem crnog tijela pokazuje kako je Svemir već oko faze razvezivanja materije i zračenja trebao biti u stanju termodinamičke ravnoteže, odnosno maksimalne entropije – što djeluje u suprotnosti s očekivanjem da se entropija trebala povećavati od tog perioda do danas. U pokušajima otklanjanja ovih kontradikcija, slijedeći prijedloge Rogera Penrosa [24] moguće je zamišljati da gravitacijsko polje po sebi sadržava entropiju.

piju, međutim sasvim je nejasno na koji se način takva lokalna entropija gravitacijskog polja može strogo definirati. Štoviše, nemogućnost egzaktnog definiranja energije gravitacijskog polja motivira na pretpostavku da je nemoguće egzaktno definirati i entropiju za gravitacijsko polje. Sva ova razmatranja vode na nužan zaključak da se entropija ne može koristiti kao ozbiljan načelan argument u diskusiji o cikličkim kozmologijama, budući da je njezina relevantnost, kao i smisao, u potpunosti upitna u ovome kontekstu. No, čak ako bi za trenutak i zanemarili sve ove prigovore i zaista pretpostavili da se nužni porast entropije u Svemiru mora uzeti kao egzaktna činjenica, to i dalje ne bi u načelu dovelo u pitanje održivost koncepta cikličkog Svemira. Primjerice, ukoliko Svemir prije ulaska u fazu kontrakcije prolazi kroz fazu duge ubrzane ekspanzije ili čak razaranja gravitacijski vezanih sustava (uslijed rasta kozmološkog člana), tada je vidljiv Svemir na početku novog ciklusa, s obzirom na neku točku u njemu, samo maleni dio ranijeg vidljivog Svemira, koji stoga u sebi sadrži mnogo manje materije, a time i entropije (odnosno Svemir u takvim regijama prilikom skupljanja može biti gotovo prazan) [7, 25, 26]. To proizlazi iz činjenice što je uslijed snažnog ubrzanog širenja, koje prethodi kontrakciji u takvom scenariju, glavnina ranije vidljivog Svemira izašla izvan kozmološkog horizonta početkom novog ciklusa – odnosno izašla je izvan regije unutar koje je moguće ostvariti kontakt informacijama koje putuju brzinom svjetlosti. Stoga, premda entropija u Svemiru raste gledano u cjelini, ona se u ovakvim kauzalno povezanim regijama početkom novog ciklusa očito može smanjivati. Navedeno onda omogućava nesmetani razvoj organiziranih struktura u takvim regijama, uključujući i života, te bi takav mehanizam - pod upitnom pretpostavkom da je razgovor o entropiji na kozmološkom nivou uopće smislen – mogao bez poteškoća objasniti kako je entropija unutar našeg opažajnog Svemira toliko mala ako Svemir postoji beskonačno dugo. U svakom slučaju, čini se da je ovakav tip asimetričnih cikličkih modela – u kojima je faza skupljanja različita od faze širenja (odnosno, nije samo njezina inverzija) u mogućnosti da riješi i druga pitanja, kao što su stvaranje magnetskih polja u Svemiru te izbjegavanje razvijanja nestabilnosti tokom faze skupljanja Svemira [27].

Literatura

- [1] Introduction to Cosmology, B. Ryden, Cambridge University Press; 2nd edition (2016)
- [2] Principles of Physical Cosmology, P. J. E. Peebles, Princeton University Press; (1993)

- [3] *Cosmology*, S. Weinberg, Oxford University Press; Illustrated edition (2008)
- [4] S. W. Hawking. *Roy. Soc. P c. A-Math Phys.*, 294(1439):511- 521. (1966)
- [5] S. W. Hawking. *Roy. Soc. II. P c. A-Math Phys.*, 295(1443):490-493. (1966)
- [6] S. W. Hawking. *Roy. Soc. III. P c. A-Math Phys.*, 300(1461):187-201. (1967)
- [7] P. Pavlović, M. Sossich, *Phys.Rev.D* 95 (2017) 10, 103519; arXiv:1701.03657 [gr-qc]
- [8] A. Ashtekar, T. Pawłowski, P. Singh and K. Vandersloot, *Phys. Rev.D*75, 0240035 (2007), arXiv:gr-qc/0612104.
- [9] *Mit o vječnom povratku*, Eliade, Mircea, Nakladnik Zagreb : Naklada Jesenski i Turk, 2007
- [10] *Rgveda*, Edited By: Ravi Prakash Arya and K.L. Joshi Translated By : H.H. Wilson and Bhasya of Sayanacarya, Indica Books (2002); (1, 164, 11-14)
- [11] *Siva Purana* 4 volumes, editor: J. L. Shastri, Motilal Banarsidass,; (2014)
- [12] *A History of Chinese Philosophy*, Yu-lan Fung, Princeton University Press; First Princeton Paperback Pr. edition (1983) by Yu-lan Fung (Author)
- [13] *Filozofija Heraklita Mračnog*, Miroslav Marković, Beograd, Nolit, 1983
- [14] *Empedocles: The Extant Fragments*, M.R. Wright, Hackett Publishing Company, Inc. (1995)
- [15] P. Pavlović, M. Sossich, *Phys.Rev.D* 103 (2021) 2, 023529; arxiv:2009.03625 [gr-qc]
- [16] R. C. Tolman, *Phys. Rev* 38, 1758 (1931)
- [17] Richard Tolman, *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Oxford at the Clarendon Press (1934)
- [18] A. G. Riess, A. V. Filippenko, P. Challis, A. Clocchiatti, A. Diercks, P. M. Garnavich, R. L. Gilliland, C. J. Hogan, S. Jha, R. P. Kirshner, B. Leibundgut, M. M. Phillips, D. Reiss, B. P. Schmidt, R. A. Schommer, R. C. Smith, J. Spyromilio, C. Stubbs, N. B. Suntzeff, and J. Tonry, "Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant," *The Astronomical Journal* 116 no. 3, (Sep, 1998) 1009–1038. <https://doi.org/10.1086/300499>.

- [19] Steven Weinberg. The cosmological constant problem, *Rev. Mod. Phys.*, 61:1–23, Jan 1989.
- [20] D. Psaltis, D. Perrodin, K. R. Dienes, and I. Mocioiu, *Phys. Rev. Lett.*, 100, 091101 (2008).
- [21] H. A. Buchdahl, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 150, 1 (1970).
- [22] R. R. Caldwell, M. Kamionkowski, N. N. Weinberg *Phys. Rev. Lett.* 91, 071301 (2003)
- [23] L. Perivolaropoulos, *Phys. Rev. D* 94, 124018 (2016).
- [24] R. Penrose, *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe*, Vintage; Illustrated edition (2012)
- [25] A. Ijjas, P. J. Steinhardt, *Phys.Lett.B* 795 (2019) 666-672
- [26] A. Ijjas, P. J. Steinhardt, *Class.Quant.Grav.* 35 (2018) 13, 135004
- [27] N. Leite, P. Pavlovic, *Class.Quant.Grav.* 35 (2018) 21, 215005

