



## Pregledi i osvrti

Pregledni članak UDK 52: 113

Josip Planinić, Osijek

### Otvorena pitanja u novoj kozmologiji

Esej

»Ja sam Put i Istina i Život.«

(Iv 14,6)

Donedavno je kozmologija smatrana više granom filozofije nego fizike, i to zbog zbog nedostatka znanstvenih podataka. Posljednjih je nekoliko godina postignut skokovit napredak u pouzdanosti i velikom broju astrofizičkih mjerenja; sustavno je istraženo ne stotine ili tisuće galaksija nego stotine tisuća njih, što je dalo preglednu sliku lokalnog svemira i omogućilo određivanje fundamentalnih parametara koji definiraju strukturu cijeloga svemira [Da01].

#### **Svemir se širi ubrzano**

Već je više od sedamdeset godina poznato da se svemir širi, te da je brzina neke galaksije, koja se udaljava od nas, razmjerna udaljenosti [Kr96], [P199]. To Hubbleovo širenje ili zakon izravno upućuje na zaključak kako je svemir započeo ekspanziju, odnosno kako je nastao u određenom trenutku prošlosti [P101]. Ispitivanjem spektra svjetlosti neke galaksije moguće je mjeriti njezinu brzinu uzduž pravca promatranja kao i udaljenost koristeći Dopplerov efekt i pripadni crveni pomak izvora svjetlosti. S povećanom osjetljivošću detektora i kompjutorski kontroliranom instrumentacijom, ostvaren je uvid u pojedinosti trodimenzionalnog nebeskog zemljovida dijela ili djelića svemira [PA01]. Takva detaljna mapa pokazuje sasvim nehomogenu distribuciju galaksija i skupina galaksija, s velikim prazninama, što je u značajnom proturječju s uniformnim kozmosom kakav je opisan kozmičkim pozadinskim mikrovalnim zračenjem; to je pozadinsko zračenje zaostatak (»relikvij«) vruće, zgusnute i homogene faze svemira, što je uslijedila nakon početnog Velikog praska (Big bang, engl.). I pitanje je: kako su iz tako homogenog ranog svemira nastali komadići i djelići svemira koje mi danas vidimo kao galaksije ili skupine galaksija?

Prema pretpostavljenom procesu tzv. gravitacijske nestabilnosti, te su strukture galaksija nastale kao područja svemira povećane gustoće; ekspanziju tih područja usporavala je, s obzirom na okolinu, gravitacija, što je povećavalo razliku u gustoći mase između područja više i niže gustoće. Međutim, navedenom modelu gravitacijske nestabilnosti teorijski se pristupalo s dosta sumnje (zašto su se uopće pojavila prvotna zgušnjenja?), a iznalaženje neposrednog uvida ili dokaza nije išlo bez poteškoća.

Inflacijska hipoteza o naglom eksponencijalnom napuhavanju ranog svemira (u prvim djelićima sekunde), koja bi se mogla uklopiti i u prilagođeni *Big bang model*, u glavnini rješava pitanje pojave prvotnih nehomogenosti gustoće svemira. Te su nehomogenosti mogle nastati tijekom inflacije iz kvantnih fluktuacija (prostorne varijacije gustoće adijabatske su i slijede Gaussovu razdiobu). Naravno, inflacijska predviđanja treba još testirati (dokazati), što bi bio dobar istraživački program, možda za sljedeće desetljeće [Tu02].

Kad je riječ o inflacijskom pristupu, valja spomenuti još jedno temeljno inflacijsko predskazanje: svemir je prostorno ravan. To bi značilo da je gustoća svemira jednaka kritičnoj gustoći (koja je upravo tolika da može gravitacijski zaustaviti Hubbleovo širenje svemira [PI01]).

Danas se teorijski za svemir prihvaća standardni inflacijski *Big bang model*.

Novi eksperimenti pokazuju da je svemir ravan, ili sasvim malo zakrivljen (zaključuje se iz mjerenja anizotropije kozmičkog mikrovalnog pozadinskog zračenja pomoću satelita WMAP [BL03]), te da se svemir ubrzano širi (iz analiza mjerenja crvenog pomaka tipa Ia supernove slijedi da tzv. kozmološka konstanta nije nula te da je pozitivna [PA99], [Tu02]).

Spomenuto je pozadinsko zračenje otkriveno polovicom šezdesetih godina prošlog stoljeća kao »šum« koji dolazi iz svih smjerova svemira, a predstavlja zaostalo zračenje (centimetarskih valnih duljina, što odgovara zračenju crnog tijela temperature 2,7 K) od »vatrene kugle« Velikog praska; kozmološku je konstantu uveo Einstein u svoju gravitacijsku teoriju polja kako bi svemir prikazao statičnim (a kasnije se, kad je ustanovljeno da se svemir širi, odrekao te konstante).

### Tvar i tamna energija svemira

Sadašnja je procjena da se u svemiru nalazi oko 30% tvari i 70% tamne energije, a s obzirom na kritičnu gustoću mase svemira [Da01], [Ca03]. Dakle, zbroj gustoća mase tvari i tamne energije treba odgovarati kritičnoj gustoći svemira. Kako to obrazložiti?

Od navedenih 30% svemirske mase tvari, samo 4% jest obična, barionska tvar (zvijezde, planeti, plin i zvjezdana prašina), koja je velikim dijelom optički nevidljiva (tek 0,5% barionske mase pripada sjajecim zvijezdama), a 0,3% mase nose neutrini, dok sva preostala masa svemira pripada tamnoj tvari. Masa te skrivene, tamne tvari mogla bi najvećim dijelom pripadati još neotkrivenim elementarnim česticama (vodeći je kandidat čestica neutralino).

Na postojanje tamne tvari upućuje rotacija naše Galaksije u kojoj zvijezde udaljenije od Sunca (s obzirom na središte Galaksije) imaju podjednaku obodnu brzinu kao Sunce, umjesto da im se brzina smanjuje obrnuto razmjerno s drugim korijenom radijusa ophodnje. Pretpostavlja se, stoga, postojanje nevidljive mase, koja je sferično raspoređena (u kolutu; halo, engl.) oko Galaksije, te gravitacijskim djelovanjem utječe na brzinu zvijezda. Slično se zaključuje i za skupine galaksija, da su okružene nevidljivom tvari.

Dva su glavna pristupa u traženju odgovora o vrsti objekata koji predstavljaju tamnu tvar: MACHOS objekti (akronim od: Massive Compact Halo Objects, engl.) i WIMPS čestice (Weakly Interacting Massive Particles, engl.).

Dakle, MACHOS objekti mogli bi biti crne rupe, neutronske zvijezde, izgorjeli bijeli patuljci, ili zvijezde, npr. veličine planeta Jupitera, koje imaju premalo mase za održavanje nuklearne fuzije (odnosno, u gravitacijskoj kontrakciji izaraju premalo blijedog svjetla da bi ono bilo vidljivo). Postojanje masivnih objekata zapaža se po gravitacijskom učinku na svjetlosti (svijanje putanje svjetlosti u gravitacijskom polju, a u skladu s Općom relativističkom teorijom), koja prolazi u njihovoj blizini, a dolazi od dalekih zvijezda.

Stoga bi glavninu mase u svemiru trebale nositi WIMPS čestice, za koje se pretpostavlja da slabo međudjeluju u tvari, kao neutrino, kojemu se nastoji odrediti masa, odnosno nastoji se otkriti još nepoznatu vrstu neutrina.

Uz druge hipotetske WIMPS čestice, posebno se istražuje postojanje neutralina (neutralna čestica predviđena supersimetrijskim modelom SUSY), koji bi mogao imati masu od 20 do 1000 masa protona [PI01].

U tamnu tvar uključujemo i zapažene supermasivne crne rupe u našoj Galaksiji, kao i u susjednoj Seyfertovoj II galaksiji. Smatra se, premda iz neizravnih zapažanja, da crne rupe postoje barem u još dvadesetak galaksija [Fe03]. Te supermasivne crne rupe imaju mase od nekoliko milijuna do nekoliko milijardi masa Sunca.

Jedna hipoteza, pak, nastoji izbjeći nejasnoće s masom tamne tvari i uvodi kao rješenje modificiranu Newtonovu dinamiku (tzv. MOND hipoteza [Mi02]) – *sila je razmjerna kvadratu ubrzanja*; obrazloženje navodi kako kod nižih vrijednosti ubrzanja vrijedi približno Newtonov zakon sile (koji je jednak umnošku mase i ubrzanja), a općenito kod sile valja razmatrati kvadrat ubrzanja, što onda rješava i problem skrivene mase u svemiru. Dakle, MOND bi bio (manje izgledno) alternativa za tamnu tvar.

Tamna energija uvedena je u bilancu ukupne materije svemira kao hipoteza koja bi mogla opravdati empirijski ustanovljenu ubranu ekspanziju svemira [PR03]. Naime, pojava odbijanja masa u svemiru, antigravitacija, predstavlja izvanredan kozmološki problem; za fiziku bi to bio novi oblik energije s pojavom odbojne gravitacije.

U Newtonovoj je mehanici masa izvor gravitacijskog polja, a gravitacija je uvijek privlačna. Međutim, u Općoj teoriji relativnosti i drugoj Friedmanovoj jednadžbi pojavljuje se mogućnost ubrane ekspanzije svemira, ako tlak ima negativnu vrijednost (iz spomenute diferencijalne jednadžbe drugoga reda i zavisnosti kozmičkog faktora skale o vremenu, slijedi pozitivna akceleracija kada je negativni tlak veći od jedne trećine gustoće energije [Tu02], [PI01]).

Tako bi tamna energija trebala imati svojstvo, da je približno homogena, da ima veliki negativan tlak te da ne emitira nikakvu svjetlost. Dakle, tamna je energija kvalitativno sasvim različita od tamne tvari (materije) i nikako nije zamjena za nju.

Ako bi ubrana ekspanzija svemira bila doista opisana spomenutom Einsteinovom teorijom, to bi bio sjajan uspjeh Opće teorije relativnosti. Poznato je kako je Einstein bio uveo kozmološku konstantu u jednadžbu polja za svemir da bi uravnotežio privlačnu gravitaciju svemira (za koji se držalo da je statičan); kad je bila ustanovljena ekspanzija svemira, autor se brzo odrekao svoje kozmološke konstante i onda ju izostavio iz jednadžbe polja [Kr96].

Kasnije je kvantna teorija polja iznašla odnos između kozmološke konstante i energije (kvantnog) vakuuma, a koja se pojavljuje u razmatranju

savršenog fluida; tu energija vakuuma ima prostorno jednoliku gustoću i jednaka je negativnoj vrijednosti izotropnog tlaka. Vakuumska energija, odnosno kozmološka konstanta, vodeći je kandidat za tamnu energiju. Međutim, poznati problem kozmološke konstante i nadalje ostaje: ona je pre-malena. Naime, teorijsko predviđanje daje gustoći vakuumske energije veću vrijednost od sadašnje kritične gustoće svemira za faktor 1055 (što je izvanredno veliko neslaganje) [Tu02], [Pe02].

Posebnost je (ili ograničenost) tamne energije ta, da nije interferirala u oblikovanju strukture svemira; u prošlosti je bila nevažna, a u budućnosti će svemira biti dominantna. Tako je pronalaženje značenja tamne energije veliki izazov za novu kozmologiju. Kako se kozmološka konstanta i gustoća energije odnose na prostor [PA99], mjerenje svojstava za skupine galaksija, koje nije jednostavno, moglo bi imati značenje prozora prema tamnoj energiji.

Ipak, valja spomenuti i druge mogućnosti kao rješenja problema ubrzane svemirske ekspanzije. Tako se razmatra proces stvaranja čestice, koji može voditi negativnom tlaku i onda ubrzanoj ekspanziji, što bi bila (manje izgledno) alternativa za tamnu energiju [Fr02].

Ili se tamna energija može pripisati disipativnom fluidu s negativnom pobudom [BP01], ili je pak to manifestacija nekoga aktivnog kvantnog polja tajnovitog porijekla.

Ne tako davno, kozmologiju se smatralo, u polušali, »traženjem dvaju brojeva«. Jedan je broj bila Hubbleova konstanta, koja mjeri brzinu ekspanzije svemira, a drugi se broj odnosio na gustoću energije svemira, a s obzirom na njegovu kritičnu gustoću. U prošlom se desetljeću puno toga promijenilo i opis svemira sada sadrži više pojedinosti, a najvažniji kozmološki parametri određeni su s više pouzdanosti. Uz gore spomenuta otvorena pitanja u novoj kozmologiji i pojedina obrazloženja, navedimo i sadašnju vrijednost Hubbleove konstante, koja iznosi 72 km s-1Mpc-1, te starost svemira od 14 milijardi godina.

Tako i poslije velikog povijesnog napretka u svemirskim istraživanjima sa satelitima COBE i WMAP u proteklom desetljeću, preostaje još puno neriješenoga, a razvojem tehnologije ostaje i puno mjesta za nova iznenađenja.

### Kriterij opovrgljivosti

Ipak, kako bi se filozofija, odnosno filozof znanosti osvrnuli/o na mnoštvo ovdje navedenih kozmoloških teorija i hipoteza!? Spomenimo Austrijanca Karla Poppera, koji je svoj glavni rad iz filozofije znanosti objavio 1934. godine pod naslovom *Logik der Forschung*. Kasnije je Popper, nakon preseljenja u Englesku, proširio svoj glavni rad i objavio ga pod naslovom *The Logic of Scientific Discovery* (1959.), te je postao vrlo poznat filozof u krugovima filozofije politike i društva, a njegova je filozofija znanosti svedena pod naziv kritičkog racionalizma [Kr96].

U kozmološkim kontroverzama, primjerice o statičnom i evolucijskom svemiru sve do 60-ih godina 20. stoljeća, teoretičari statičnog svemira pozivali su se na elemente Popperove filozofije i na princip da su znanstveni status i valjanost neke teorije određeni stupnjem njezine prevargljivosti ili opovrgljivosti. Prema Popperu, dobra teorija nije ona koja se brani od pobijanja, nego je naprotiv stalno izložena eksperimentima i pobijanju koje bi iz njih

slijedilo. Teorija, tako strukturirana da ne može empirijski biti oborena, uopće ne pripada znanosti. Kriterij opovrgljivosti ne razgraničuje samo znanost od ne-znanosti nego postaje i kriterijem prema kojemu će jedna od dvije ili više teorija (privremeno) prevladati one s većim mogućnostima opovrgljivosti.

Protagonisti nepromjenjivog svemira prigovarali su evolucijskim teorijama kako one uopće ne govore o predskazanjima koja bi, u proturječju sa zapazanjima, mogla biti oborena; tako su oni držali da je s filozofskog stajališta statična teorija svemira superiorna, tj. više znanstvena od rivalske, evolucijske teorije.

Sam Popper, međutim, nije nastupao u raspravama o kozmozologiji, osim jednom publikacijom o tumačenju crvenog pomaka i Dopplerovu efektu [Po40]. Poznato je kako je bio zadivljen pojavom *Big bang teorije*, ali ne zadugo; on je pokazivao, kao i neki drugi filozofi tog doba, dosta nepovjerenja prema kozmološkim principima na kojima je izgrađena teorija ekspanzije svemira. Kada je šezdesetih godina prošlog stoljeća odbačena teorija o nepromjenjivom svemiru, Popper je ostao u protimbi evolucijskoj teoriji svemira, s uvjerenjem kako svemir u nekim svojim dijelovima može evoluirati, ali na velikim udaljenostima on ostaje uravnoteženim i nepromjenjivim.

Naravno, uz mnoštvo novih astrofizičkih empirijskih podataka i rezultata istraživanja, Popper i njegovi suvremenici s više bi pouzdanosti mogli govoriti o pojedinim kozmološkim teorijama i pripadnom kriteriju opovrgljivosti.

## Literatura

- [BP01] Banerjee, N. and Pavon, D., »Cosmic acceleration without quintessence«, *Phys. Rev. D* 63 (2001) 043504.
- [BA03] Bridle, S., et al., »Precision cosmology? Not just yet...«, *Science* 299 (2003) 1532.
- [Ca03] Carroll, S., »Filling in the background«, *Nature* 422 (2003) 26.
- [Da01] Davis, M., »Weighing the Universe«, *Nature* 410 (2001) 153.
- [Fe03] Ferrarese, L., »Fiding the first quasars«, *Nature* 421 (2003) 329.
- [FA02] Freaza, M., et al., »Cosmic acceleration and matter creation«, *Phys. Rev. D* 66 (2002) 103502.
- [Kr96] Kragh, H., *Cosmology and Controversy*, Princeton University Press, Princeton, 1996.
- [Mi02] Milgrom, M., »Does dark matter really exist?«, *Scientific American*, August 2002.
- [PR03] Peebles, P.J. and Ratra, B., »The cosmological constant and dark energy«, *Rev. Mod. Phys.* 75 (2003) 559.
- [PA99] Perlmutter, S. et al., »Measurements of and from high-redshift supernovae«, *Astrophys. J.* 517 (1999) 565.
- [PA01] Peacock, J., et al., »A measurement of the cosmological mass density from clustering in the 2dF galaxy redshift survey«, *Nature* 410 (2001) 169.
- [Pe02] Petković, T., *Uvod u modernu kozmozologiju i filozofiju*, Gradska knjižnica, Šibenik 2002.
- [PI99] Planinić, J., »Evolucija svemira«, *Filozofska istraživanja* 72-73 (1999) 303.

- [PI01] Planinić, J., *Kaos i kozmos*, Algoritam, Zagreb 2001.
- [Po40] Popper, K., »Interpretations of nebular red-shifts«, *Nature* 145 (1940) 69.
- [Tu02] Turner, M., »Making sense of the new cosmology«, *Int. J. Mod. Phys.* 17 (2002) 180.

Josip Planinić

Open Questions in the New Cosmology

An Essay

Considering the standard inflationary Big Bang model of the Universe, questions of the Universe homogeneity, formation of galaxies, flatness and accelerating expansion of the Universe were discussed in light of new empirical data. Theoretical possibilities of solving problems of critical density of the Universe, dark matter, dark energy and cosmological constant were considered. As a philosophical view to the cosmology and controversy, the Popper's philosophy of science was presented, with the well known falsifiability criterion.