

Josip Planinić, Osijek

UDK: 524.8:
Stručni članak
Primljeno 1/2005.

Sažetak

Uvodno se navode prva nastojanja u razumijevanju prirodnih pojava i traženju odgovora na kozmološka pitanja, od predsokratovaca do Aristotela i zatim do Newtona. Znanstvena kozmologija 20. stoljeća temelji se na Einsteinovoj općoj teoriji relativnosti i jednadžbi gravitacijskog polja, koju su poslije izveli i proširili iz različitih polazišta Friedman i Lemaitre; rješenja jednadžbe govore o ekspanirajućem svemiru iz jedne singularne točke, o početku svemira i pojavi velikog praska (Big Bang), što se danas uzima kao standardni kozmološki model. Razmatra se i drugi alternativni model, s teorijom uravnoteženog svemira (Steady state universe), koji je međutim u drugoj polovici dvadesetog stoljeća napušten, uz nova kozmološka otkrića i empirijska uporišta. Uz otvorena pitanja moderne kozmologije navode se i uvjerenja i svjetonazori pojedinih znanstvenika.

UVOD

Prva nastojanja u razumijevanju prirodnih pojava i traženju odgovora na kozmološka pitanja pripisuju se Talesu iz Mileta (6. st. pr. Kr.), koji je svemir držao konačnim te ograničenim nebeskim svodom; za njega je Zemlja disk koji pluta na oceanu, a počelo svega je voda [Copleston, 1994; Planinić, 1999., 2001].

Njegov učenik Anaksimenes uvodi zrak kao počelo svijeta te geocentričnu kozmologiju; Zemlja je ravna ploča koja lebdi u zraku poput lista.

Anaksagora (5. st. pr. Kr.) razmatra o Mjesecu i planetima (planetos, grčki - lualica) kao čvrstim tijelima, sličnima Zemlji, i ustvrđuje kako je um (*nous*, grčki) uzrok redu u svijetu.

Empedoklo (5. st. pr. Kr.) navodi četiri elementa: vodu, zrak, zemlju i vatru, od kojih bi bio izgrađen svijet, dok Leukip i Demokrit uvode atome kao konstitutivne elemente svemira.

Prema Filolaju (pitagorejca, kraj 5. st. pr. Kr.), svemir sadrži jedan središnji oganj (vatru) oko kojega se gibaju nebeska tijela: Zemlja, Mjesec, Sunce, pet planeta i zvijezde stajačice (navedeni kozmološki opis, ovdje ponešto pojednostavljen, predstavlja povijesno i prvi model svemira).

Aristotel (4. st. pr. Kr.), u(po)svajajući ideje svojeg učitelja Platona, govori o kružnom gibanju planeta i zvijezda oko Zemlje. Nebeska se tijela gibaju u eteru, a sublunarni svijet je materijalan i izgrađen od četiri elementa, koje navodi već Empedoklo. Prema Aristotelu, uzrok svim gibanjima je Prvi nepokretni pokretač, Bog. Takva Aristotelova kozmologija (koja je zamišljala svemir kao niz sfera, sa Suncem, Mjesecom i pet planeta oko Zemlje smještene u središtu svemira), koju je Ptolomej poslije sistematizirao (stotinjak godina poslije Krista), ostala je nepromijenjena za više od 1500 godina.

Protiv te teorije izjasnio se G. Ockham, franjevac, engleski filozof iz četrnaestog stoljeća, prema kojemu su sva nebeska i sublunarna (dakle zemaljska) tijela izgrađena od iste tvari; njegovi doprinosi prirodnoj filozofiji uvod su u novu fiziku, koja je prethodila N. Koperniku (15./16. st.), G. Galileju i J. Kepleru u 16./17. st., te I. Newtonu (17./18. st.). Kritički duh je živnuo i ondašnja je logika postavila kozmološku antinomiju: svemir je konačan – svemir je beskonačan.

Kopernik je preuzeo antičke ideje (Aristarh iz Sama, 3. st. pr. Kr.) o Suncu, kao središtu svijeta, i planetima koji kruže po koncentričnim putanjama, što je nastojao onda provjeriti u promatranjima nebeskih planetarnih gibanja, te dokazati postojanje Sunčeva sustava (glasoviti "Kopernikanski obrat"). Odredio je periode planeta i postavio heliocentrični sustav: u središtu svemira je Sunce oko kojega kruže planeti Merkur, Venera, Zemlja (s Mjesecom), Mars, Jupiter i Saturn te zvijezde stajačice.

G. Galilei je pomoću dalekozora promatrao Mliječnu stazu, našu galaksiju, i opisao je kao "mnoštvo sjajnih zvijezda okupljenih u nakupinama" (1610.). Zapazio je povremene sjene na Veneri, što je onda tumačio kruženjem planeta oko Sunca, pa je obznanio kako ne može više podržavati Ptolomejev geocentrični model svemira.

J. Kepler je nakon mnogih mjerenja ustanovio (ponajviše baveći se do tada zamršenom putanjom Marsa, koji je mijenjao brzinu gibanja) kako Sunce nije u središtu kružnih putanja planeta, nego u žarištu elipse po kojoj se planet giba; spojnica Sunce-planet

u jednakim vremenima prelazi jednake površine (ili, na većoj udaljenosti od Sunca planet na eliptičkoj stazi ima manju brzinu, i obratno). U svojim Esejima piše: "Filozofija je napisana u toj velikoj knjizi – mislim na svemir – koja zauvijek ostaje otvorena pred našim očima ..."

Uzimajući u obzir sve spoznajne stečevine, I. Newton utemeljuje novu mehaniku: uvodi silu, koja je jednaka umnošku mase i ubrzanja tijela, te opću gravitaciju s privlačnom silom između masa, na temelju čega su se mogla obrazložiti gibanja svih tijela u Sunčevu sustavu. Gravitacija je bila ključ za nebeska gibanja, a njegova je fizika bila teorija reda u svemiru. Međutim, proračun gravitacijskog međudjelovanja više planeta i Sunca (tzv. problem međudjelovanja tri i više tijela) bio je toliko složen da se nije činio potpuno rješivim, pa je i sam Newton spominjao neke nepravilnosti u gibanju planeta koje bi mogle voditi raspadu Sunčevog sustava, ako u određenim trenucima ne bi došlo do korekcije putanja; zaključio je kako je Božji periodični zahvat neizbježan da bi se održala uravnoteženost sustava. Dao je također odgovore na znanstvena i filozofska pitanja o prostoru, vremenu, tvari, i dr.; njegov je prostor apsolutan, stvoren je od Boga, stoga ima i njegova obilježja: vječan je, beskonačan, nepromjenljiv i nedjeljiv.

U sljedećih dvjestotinjak godina sve više postaje razvidno kako se zvijezde ne nalaze posvuda u svemiru nego su smještene u skupini oblika jednog diska, koju mi sada poznajemo kao našu galaksiju ili Mliječnu stazu [Liddle, 2003., str. 1]. Prvo se držalo, pogrešno, da je Sunčev sustav u središtu galaksije, pa tek početkom 20. st. H. Shapley zaključuje kako je Sunce udaljeno za dvije trećine promjera galaksije od njezinog središta, ali uzima da je naša galaksija u središtu svemira. W. Baade pokazuje konačno (1952.) kako je Mliječna staza tek jedna tipična galaksija, a svemir izgleda jednako svakome gdje god se nalazio, što je poznato kao kozmološki princip ili načelo; taj princip se izriče i tvrdnjom kako je svemir homogen i izotropan, što naravno ne stoji, u malim razmjerima (npr. unutrašnjost Sunca se sasvim razlikuje od nekog međuzvjezdanog područja), ali princip vrijedi u većem razmjeru, recimo, u nekom području svemira od milijun galaksija.

Kozmološki princip je temelj teorije velikog praska (Big Bang, engl.), koja je dosad najbolji opis svemira [Coles, Lucchin, 2002]. Nekoliko desetljeća vladalo je rivalstvo između te teorije i kozmologije uravnoteženog svemira (Steady State Universe, engl.), koja se od prve uvelike razlikuje, ali je teorija velikog praska sredinom sedamdesetih godina 20. stoljeća dobila toliku empirijsku podršku da se teorija

uravnoteženog svemira danas u kozmologiji više i ne spominje. Ipak, ovdje je dan razvoj kozmološke misli i pregled događanja u burnom 20. stoljeću.

ZNANSTVENA KOZMOLOGIJA 20. STOLJEĆA

Znanstveno izučavanje svemira bilo je omogućeno tek napretkom motriteljske astronomije i razvojem velikih teleskopa kao i spektroskopskih istraživanja. Ipak, do kraja 19. stoljeća svemiru se pridavalo usko značenje te se držalo (uz poneku raspravu) kako svi vidljivi nebeski objekti pripadaju Mliječnoj stazi, dakle samo našoj Galaksiji [Kragh, 1997].

A. Einstein nije izumio kozmologiju, ali ju je stavio na posve nove plodonosne temelje. Nakon što je krajem 1915. godine upotpunio svoju opću teoriju relativnosti, u veljači 1917. objavljuje rad (*Kosmologische Betrachtung zur allgemeinen Relativitätstheorie*) u kojem iznosi konzekvence te relativističke teorije, što su od iznimne važnosti za svemir u cijelosti. Pretpostavlja da je svemir prostorno zatvoreni kontinuum s četiri dimenzije, od kojih jedna pripada vremenskoj koordinati; tako je onda svemir prostorno ograničen i statičan te sadrži konačnu količinu tvari; zatim navodi: "Zakrivljenost prostora je promjenjiva s vremenom i položajem, ovisno o raspodjeli tvari, ali svemir možemo pojednostavljeno prikazati kao sferičan prostor."

Sve navedene zamisli Einstein oblači u matematičku formu, počevši od jednadžbi gravitacijskog polja iz opće teorije relativnosti u koju unosi još jedan član s kozmološkom konstantom, poznatom kao lambda (Λ); time svemiru osigurava nepromjenljivost u vremenu, što je bilo u skladu s tadašnjim shvaćanjem svemira.

Vrijednost kozmološke konstante bila je nepoznata (i još je uvijek tako), ali s obzirom na jednadžbe gibanja planeta trebala je imati vrlo malu vrijednost. Korisno je misliti o toj konstanti kao o članu koji uvodi kozmičko odbijanje razmjerno udaljenosti između svemirskih tijela; ono je zanemarivo na malim udaljenostima, dok na velikim udaljenostima odbijanje poraste do vrlo značajnih vrijednosti. U takvu prikazu evolucija svemira ovisi o ishodu natjecanja, tj. o prevlasti odbojne sile, koju određuje Λ , i privlačne Newtonove gravitacijske sile; kod Einsteinova statičnog svemira te dvije sile su u ravnoteži.

U takvom modelu svemir je bio homogeno ispunjen razrijeđenom, ali konačnom masom gustoće, koja je bila razmjerna kozmološkoj

konstanti. Takav je svemir imao stalnu pozitivnu zakrivljenost te je bio prostorno zatvoren; vremenski je bio beskonačan, a njegova je veličina uvijek bila ista.

I premda nije bilo posebnog (empirijskog) opravdanja za uvođenje kozmološke konstante u jednadžbu polja, pokazalo se kasnije kako je lambda ipak imala značajnu i prirodnu ulogu u kozmološkoj teoriji.

Nizozemski astronom W. de Sitter, koji se dopisivao s Einsteinom, ustanovio je (1917. god.) kako kozmološka jednadžba polja, pored statičkog (Einsteinovog) rješenja za svemir ispunjen s tvari, ima i drugo rješenje za prazan svemir, koji je prostorno zatvoren (iako ne sadrži tvar). Posebna je zanimljivost De Sitterova modela: ako bi se u svemiru nalazila čestica na nekoj udaljenosti od ishodišta koordinatnog sustava u kojem se nalazi motritelj, čestica bi se udaljavala od motritelja s ubrzanjem koje je razmjerno toj udaljenosti i konstanti Λ , što odgovara učinku odbojne sile.

Premda je matematički korektan, za De Sitterov model se držalo da nema fizikalnog smisla; ipak, za svemir vrlo male gustoće taj model bi se mogao primijeniti kao aproksimacija za nultu gustoću.

To je i doba rane motriteljske kozmologije, pa su pomoću Dopplerova efekta i pripadnoga crvenog pomaka zapažene spiralne galaksije, koje se udaljavaju brzinama od preko 1000 km/s. Empiričku relaciju između crvenog pomaka i udaljenosti svemirskih objekata ustanovio je E. Hubble pri astronomskim istraživanjima s reflektorskim teleskopom širokog promjera (2,54 m) na opservatoriju Mount Wilson (V. Britanija, gdje je gostovao kao već afirmirani istraživač; inače je prvo završio studij prava na Sveučilištu u Chicagu; poznavao je radove iz teorijske kozmologije, a oblik korelacije za crveni pomak promatrao je u početku kao "De Sitterov efekt", koji bi se odnosio na međusobno udaljavanje svemirskih objekata).

U radu objelodanjenom 1929. god. Hubble navodi podatke za više od dvadeset galaksija, kojima je odredio udaljenosti (dok je pripadne crvene pomake većinom preuzeo od V. Sliphera, s opservatorija Lowell); uspoređujući brzine udaljavanja galaksija i pripadne udaljenosti, dobio je pravac s koeficijentom smjera (H); prema tom odnosu, brzina udaljavanja galaksije (ili širenja svemira) jednaka je umnošku udaljenosti galaksije i takozvane Hubbleove konstante H.

Udaljenosti galaksija Hubble je odredio mjereći luminozitet zvijezda, dok je brzine izvora svjetlosti, koji se udaljavaju, mogao odrediti iz mjerenja crvenog pomaka.

Krajem 1929. godine u zapadnoj astronomskoj literaturi zapažen je teorijski (matematički) rad A. Friedmana (s Petrogradskog sveučilišta), koji je objavljen još 1922.; članak prikazuje diferencijalnu jednadžbu s rješenjem koje opisuje ekspanirajući svemir, tj. svijet što je nastao na početku vremena i započeo širenje iz jedne točke, takozvane točke singulariteta.

Navedena jednadžba izvodi se pomoću potencijalne i kinetičke gravitacijske energije probne čestice na nekom položaju u svemiru te pomoću zakona očuvanja energije.

Zapravo, ta diferencijalna jednadžba, poslije nazvana Friedmanovom kozmološkom jednadžbom, integriranjem daje niz (klasu) rješenja koja ovise o vrijednosti kozmološke konstante Λ , pa se uz familiju ekspanirajućih svemira matematički dobiju i ciklički ili oscilirajući svemiri u vremenu (kojima se radijusi mijenjaju periodično). Autor je u komentaru rada naveo, kako je njegovo razmatranje, odnosno jednadžba, opći slučaj, u kojem je zakrivljenost prostora neovisna o trima prostornim koordinatama, a ovisi samo o vremenu te sadrži i posebne slučajeve Einsteinova statičnog i De Sitterova nestatičnog svemira. Iako rabi pojmove, kao "vrijeme od nastanka svijeta" i "vrijeme koje je prošlo od trenutka u kojem je prostor bio zgusnut u jednoj točki do sadašnjeg stanja", na rješenja diferencijalne jednadžbe gleda samo kao na matematičke mogućnosti, bez povezivanja s astronomskim zapažanjima; kao primjer navodi rješenje jednadžbe za vrijednosti $\Lambda=0$ i masu svemira od 5×10^{21} masa Sunca, što daje period za ciklički model svijeta od oko deset milijardi godina (što je blizu današnjeg poimanja starosti svemira), ali tome ne pridaje neku fizikalnu realnost.

Iako je rad bio objavljen u njemačkom časopisu, u to vrijeme (kad se držalo da je svemir statičan) nije imao značajnog utjecaja na razvoj kozmologije; Friedman je doista predvidio ekspanziju nekog svemira, ali tu nije bilo riječi o širenju našeg svemira.

Neovisno o tom radu i ne poznavajući ga, G. Lemaître objavljuje (godine 1927.) članak (u biti s istim rezultatima kao u Friedmanovu radu), koji je odmah privukao pozornost, naročito u Engleskoj, gdje je autor boravio na poslijediplomskom studiju (nakon diplome na Katoličkomu sveučilištu u Louvainu, gdje je uz fiziku i astronomiju završio i teologiju te je kao redovnik D. I. bio zaređen za svećenika); na Zapadu se drži kako je Lemaître začetnik teorije ekspanirajućeg svemira i otac velikog praska u kozmologiji.

Njegov je rad bio ne samo neovisan o Friedmanovoj publikaciji nego se je i razlikovao u nekoliko važnih pristupa. Svoju kozmologijsku

diferencijalnu jednadžbu, koja je istog tipa kao Friedmanova, Lemaître je izveo za vremenski ovisnu prostornu zakrivljenost, uključivši u jednadžbu i radijacijski tlak (dok je za tlak tvari uzeo da je zanemariv). Pokazao je eksplicitno kako je ekspandirajući svemir rješenje koje zadovoljava kozmološku jednadžbu, a ekspanzija nastaje zbog samog zračenja; iz astronomskih podataka procijenio je i veličinu svemira, koji bi bio dvadesetak puta manji od današnjeg svemira. Izveo je linearnu relaciju između crvenog pomaka, brzine širenja i radijusa svemira te je pretpostavio vrijednost pripadnog faktora proporcionalnosti, poslije nazvanog Hubbleovom konstantom, odnosno parametrom; na temelju motriteljskih podataka za četrdeset dvije galaksije, u svojem je radu podržao hipotezu o linearnom odnosu između brzine i udaljenosti svemirskih tijela, što je poslije empirijski i potvrđeno u obliku Hubbleova zakona.

I premda je u navedenom radu implicite bio sadržan veliki prasak (Big Bang), o tome kao i starosti svemira Lemaître nije izravno govorio; u to se vrijeme držalo za takva razmatranja da su nefizikalna.

Značajne promjene nastaju početkom 1930. godine, kad se ipak prihvaća neki oblik dinamičkog svemira umjesto dotadašnjih statičnih rješenja Einsteina i De Sittera. Tada Lemaître svoj rad, inače objavljen tri godine prije, s popratnim pismom upućuje A. Eddingtonu, tada jednom od vodećih astrofizičara, koji onda u obliku Pisma u časopisu Nature (7. lipnja 1930.) piše o Lemaîtreovu članku kao o "briljantnom radu"; tako je Lemaîtreova teorija ponovno otkrivena i postala je poznata pred međunarodnom znanosti i zajednicom astronoma, što je i preusmjerilo istraživanja u kozmologiji.

Einstein, utemeljitelj relativističke kozmologije, u čijoj je jednadžbi zapravo bio skriven i ekspandirajući svemir, sad prihvaća novu paradigmu, i u publikaciji od 1931. godine kaže konačni zbogom kozmološkoj konstanti (kojom je inače dugo vremena bio nezadovoljan); ipak kod mnogih istraživača u evolucijskoj kozmologiji konstanta Λ ostaje živa, ali joj pridaju vrijednost ničtice.

Ideja o svemiru koji je proizišao iz singularnog događaja, što se zbilo prije nekog konačnog vremena, tj. zamisao o velikom prasku ili praprasku (Big Bang), prvi je put predložena kao znanstvena hipoteza u ranim tridesetim godinama 20. stoljeća. Uz znanstvene inovacije slijedili su i filozofski komentari pa i umjetničke vizije te je kozmologija postala privlačnom društvenom temom. U znanstveno-popularnoj knjizi *Počeci svemira*, J. Jeans raspravlja o mogućnosti da je tvar nastala od visokoenergijskih fotona "koji su kristalizirali u elektrone i protone te konačno u atome"; u tom prikazu stvaranje svemira je određen događaj, ali i kontinuirani proces, dakle oboje.

U novom članku o početku svijeta s gledišta kvantne teorije (Nature, 1931.), Lemaître obrazlaže princip prvotne čestice (atoma) pa navodi kako je stalan termodinamički iznos energije razdijeljen na diskretne kvante čiji se broj neprestano povećava; “ako se ide vremenski unatrag, mi nalazimo sve manje kvanata dok ne nađemo svu energiju svemira zapakiranu u nekoliko kvanata ili pak samo u jednom kvantu”.

Zatim autor izlaže model o prvotnom atomu, na početku svemira, čiji radijus nije bio striktno nula (nije točka singulariteta), ali je bio vrlo mali; cijeli svemir je nastao raspadom, odnosno eksplozijom (tzv. Lemaîtreov “vatromet”) tog jedinstvenog atoma u trenutku $t=0$. Širenje svemira odvijalo se u tri faze: u prvom periodu, nagle ekspanzije, atom-svemir se raspao u “atomske zvijezde”, zatim je slijedilo razdoblje usporavanja (i izdvajanja izvangalaktičkih nebula, maglica); treće je razdoblje ubrzane ekspanzije (u kojem se sada nalazimo); autor procjenjuje vrijeme evolucije svemira na vrijednost od 15 do 20 milijardi godina.

Uobičajeno se Big Bang povezuje s rusko-američkim znanstvenikom G. Gamowim, a manje se spominju ovdje prethodno navedeni kozmolozi. On nije bio ni matematičar ni astronom nego nuklearni fizičar i promatrao je rani svemir kao nuklearnu peć u kojoj su se nekoć kuhali konstitutivni elementi sadašnjeg svemira.

Njegov model prapraska opisuje svemir koji je nastao u nuklearnim reakcijama prvotnog stanja tvari iznimno velike gustoće. U ranom svemiru dominiralo je zračenje te su Gamow i suradnici, R. Alpher i R. Herman, predvidjeli zaostatke tog prvotnog zračenja u obliku niskotemperaturnoga mikrovalnog zračenja, koje je onda i detektirano desetak godina kasnije (1965.).

Razvojem kvantne mehanike i nuklearne teorije uznapredovala je i astrofizika. Gamow kvantno obrazlaže alfa raspad pomoću tzv. tunel efekta (alfa čestica može iz atomske jezgre prodrijeti kroz elektrostatičku potencijalnu barijeru i napustiti jezgru premda ima nižu energiju od one koja joj je potrebna u klasičnom razmatranju). On s kolegama priprema konferencije o izvorima energije na zvijezdama; 1939. godine H. Bethe objavljuje teorijski rad o C-N ciklusu kao o nizu nuklearnih reakcija i procesu fuzija koje su izvor energije na Suncu.

Gamow nastoji povezati nuklearnu fiziku s relativističkim kozmološkim modelom; na sadašnji svijet gleda kao na rezultat onoga što se dogodilo nekoliko milijuna godina prije u prvotnom visokokomprimiranom stanju svemira. U rujnu 1946. godine upućuje

kratki manuskript u časopis *Physical Review*, gdje u polaznu Friedman-Lemaîtreovu jednadžbu unosi parametar koji predstavlja sadašnju zakrivljenost prostora, dok najraniji zgusnuti svemir promatra kao plinsku juhu neutrona; taj je članak bio prihvaćen u znanstvenom svijetu kao temelj moderne Big Bang kozmologije.

Uz to, Gamow nastoji razjasniti rotaciju galaksija i u tu svrhu pripisuje cijelom vidljivom svemiru neki angularni moment, tj. pretpostavlja rotaciju svemira oko središta koje je izvan dosega teleskopa. U jednom pismu Einsteinu navodi kako je rotirajući svemir pogodniji za obrazloženje prapraska, a umjesto sferičnog predlaže elipsoidni prostor, gdje svemirski objekti rotiraju oko dva "pola".

Dvije godine kasnije u publikaciji sa suradnicima opisuje rani svemir u kojem dominira zračenje s temperaturom od oko 10^9K ; gustoću zračenja, koja je puno veća od gustoće tvari (što je nastala nukleosintezom), određuje prema Štefanovu zakonu, gdje je gustoća izračene energije razmjerna četvrtoj potenciji temperature. Nekoliko minuta nakon početka eksplozije svemira, kod temperature od oko $4 \times 10^8\text{K}$, broj protona približava se broju neutrona, a nastaju i deuteroni. Dominacija zračenja nad tvari smanjuje se, svemir se hladi, i njihove se gustoće izjednačuju nakon približno milijardu godina, pri temperaturi od 10^3K ; tu se počinju formirati galaksije, za koje je autor izveo više formula za računanje pripadne mase i promjera (proračun npr. daje oko 3×10^7 masa Sunca po galaksiji, kojoj pripada promjer od 13 tisuća s. g.). I premda su izračunate brojčane vrijednosti nosile pogreške za faktor deset ili dvadeset, to je bio prvi proračun za svemir i njegove dijelove u ekspanziji. Bolje rezultate (desetak puta niže vrijednosti) sličnim pristupom dobili su Gamowi suradnici Alpher i Herman, koji su procijenili i sadašnju temperaturu u razvoju svemira na vrijednost od približno 5K ; time je zapravo teorijski bilo predviđeno i kozmičko pozadinsko mikrovalno zračenje (KPMZ).

Gamow i suradnici poznavali su Lemaîtreove publikacije o kozmologiji Big Banga (uglavnom pisane na francuskom jeziku), ali ih nisu citirali u znanstvenim referencama (njihov pristup teoriji ekspanzirajućeg svemira odvijao se poglavito preko nuklearne fizike i istraživanja nukleosinteze). Big Bang kozmologija zastupana je uglavnom u Americi, a njoj protivna, rivalna teorija uravnoteženog svemira (steady state universe) imala je podršku ponajprije astronoma.

Onda je Big Bang scenarij proširen i pomaknut unatrag sve do 10^{-4}s nakon početne eksplozije te do 10^5 godina poslije prapraska;

u tom razdoblju svemir je eksandirao za faktor 10^8 , a temperatura mu je pala od 10^{13} do 10^3 K. Rani svemir nije više samo juha od neutrona, uz nešto zračenja i nekoliko protona, nego se sastoji od fotona, neutrina, elektrona (negativnih i pozitivnih) i miona, a tek manjim dijelom nukleona; nakon samo nekoliko minuta ekspanzije većina elektrona nestaje u anihilaciji, dajući unaokolo uglavnom fotone i neutrine. Podjednak odnos broja neutrona i protona poslije se s ekspanzijom mijenja, smanjuje te prelazi približno u njihov omjer od 1:5, a to je vrijeme kad započinje nukleosinteza (koja traje od 10. do 30. minute); isti autori predviđaju odnos vodika prema heliju od 7:1 do 10:1, što je bilo u skladu s astronomskim podacima; oni ne idu dalje s računanjem složenijih nukleosinteza, tj. za ekspanziju u trajanju od preko 35 minuta, kada započinje formiranje elemenata koji su teži od helija.

Svemir je ispunjen zračenjem, a kozmičko pozadinsko mikrovalno zračenje, KPMZ, samo je jedno među drugim pozadinskim zračenjima. Prvi proračun temperature svemira, proračun temeljen na energiji svjetlosti zvijezda, izveo je Eddington (1926.); iz procjene vrijednosti ukupnog toka energije zvijezda, koji prima Zemlja te Štefanova zakona, dobio je vrijednost temperature od 3,2 K. Iako je dobiveni rezultat blizu temperaturi KPMZ (5 K, što su predvidjeli Alpher i Herman, 1948.), ta zračenja valja razlučiti; svjetlost zvijezda i kozmičko mikrovalno zračenje su posvema različita zračenja. Naime, iz Wienova zakona za zračenje crnog tijela slijedi najkraća valna duljina kontinuiranog spektra KPMZ od 0,06 cm, što spada u mikrovalno područje elektromagnetskog zračenja. Ipak, toplinska i svjetlosna energija zvijezda (koja se oslobađa u nuklearnim reakcijama) može biti pribrojena energiji KPMZ, što onda sveukupno određuje temperaturu svemira (jedno vrijeme je vladala nejasnoća, konfuzija: pripada li kozmičkom pozadinskom mikrovalnom zračenju i zračenje zvijezda – naravno, ne).

Ipak, nitko od spominjanih autora nije naveo može li se KPMZ doista i detektirati, pa ni na koji način bi se to moglo izvesti; ipak to se dogodilo 1965. godine.

U vrijeme kad je Gamow sa suradnicima reformirao i afirmirao u Americi evolucijsku teoriju Big Bang (BB), u Engleskoj se pojavljuje (1948.) posve protivna, alternativna kozmološka teorija poznata kao steady-state (SS) kozmologija, odnosno teorija stalnog, uravnoteženog svemira, koja se temelji na dva postulata: svemir izgleda i izgledat će jednako motritelju na svakome mjestu i u svakome vremenu; prema drugom principu, tvar kontinuirano nastaje posvuda i popunjava praznine eksandirajućeg svemira. Tako je u

pedesetim i ranim šezdesetim godinama 20. stoljeća motriteljskoj kozmologiji bila postavljena zadaća da ispita valjanost ili prevagu navedenih rivalskih teorija.

Naime, SS-teoriji, koja je zadobila podršku značajnog broja znanstvenika, prethodilo je nekoliko teorija o permanentnom stvaranju i nestajanju zvijezda ili nekih oblika fizikalnoga svijeta; ali ni ovdje se ne može reći da je znanost u povijesti napredovala samo linearno. Primjerice, ugledni fizikalni kemičar W. Nernst u tridesetim je godinama razvijao zamisli o stacionarnom svemiru, u kojem tvar nastaje u kontinuiranim ciklusima, s time da nema tragova ni početka ni kraja ciklusa.

SS teoriju uglavnom je oblikovao F. Hoyle (i suradnici H. Bondi i T. Gold), koji je o svojem viđenju svemira održao i niz predavanja na britanskoj radiju, a zatim to na popularan način i opisao u jednoj knjižici (u kojoj je dominirao materijalistički svjetonazor).

Ipak, glavni je prigovor znanstvenika SS-teoriji bio kako nije razumljiv mehanizam stvaranja tvari.

Kozmologija i astronomija su znanosti za koje se uzima da su u stanju obrazložiti ne samo strukturu svemira nego i način nastanka nebeskih tijela; to se odnosi ponajprije na galaksije, kao glavne dijelove vidljive tvari u svemiru, i na njihove raspodjele u skupinama.

Polazna točka u svim teorijama o nastanku galaksija bio je izračun J. Jeansa (početkom 20. st.); polazeći od jednolike raspodjele tvari u prostoru, pokazao je kako male fluktuacije gustoće mogu rezultirati gravitacijskim nestabilnostima, koje u nekim slučajevima uzrokuju pojedinačne oblake plina ili protogalaksije. Također je mogao zaključiti o najmanjoj veličini i masi takvih kondenzacija s obzirom na temperaturu i gustoću, iz formula koje su poznate kao Jeansovi uvjeti. Tako je pokazao, na temelju Newtonove fizike, da je do nastanka ili formiranja galaksija došlo posve slučajno.

Prema Gamowoj BB teoriji, u ranom svemiru, gdje je dominiralo zračenje, nije postojala mogućnost kondenzacije; razrijeđeni je plin bio uniforman zbog jakog djelovanja fotona. Tek kad je započela dominacija tvari, tridesetak milijuna godina kasnije, nastupila je kondenzacija prema Jeansovim uvjetima. Uvrštavajući vrijednosti za gustoću i temperaturu u te uvjete ili formule, Gamow je odredio da je najmanja masa galaksije približno 10^{37} kg, što je bilo uglavnom u skladu s opažanjima.

Od dobre teorije svemira očekivati je da predvidi i postupke formiranja te distribucije kemijskih elemenata; dakle, znanstveno

istraživanje trebalo je obrazložiti nuklearne procese, i u pedesetim godinama 20. stoljeća predloženo je nekoliko modela za nukleosintezu kao početak izgradnje svemira.

Radioastronomija kao nova znanost nastaje u tridesetim godinama, a pravi njezin razvoj zbiva se desetak godina kasnije uz radarska istraživanja (ponajprije za ratne potrebe, u V. Britaniji). Ponajprije je otkriven stalni radiošum što dolazi iz Mliječne staze, naše galaksije, a onda su zapaženi radiovalovi sa Sunca te i radiosignali izvan Sunčeva sustava, iz smjerova poznatih zvijezda, pa su neke od njih označene kao radiozvijezde (npr. Taurus A); godine 1950. zapaženo je radiozračenje (emisija) iz galaksije Andromeda, što je bio prvi identificirani izvangalaktički radioizvor. Kod većine istraživača radioastronomija je pridonijela uvjerenju kako je SS teorija o svemiru bila pogriješna. Tada se upriličuju i simpoziji iz zasebnog područja radiokozmologije.

Početak šezdesetih godina prošloga stoljeća, radioistraživači otkrivaju novu vrstu zagonetnih nebeskih objekata, radioizvora, koje su nazvali kvazistelarnim objektima, poslije kvazarima; ti objekti slični zvijezdama imaju veliki crveni pomak i neobičan spektar promjenljivog intenziteta; broj kvazara se uskoro povećava te čini 30 posto od svih prepoznatih radioizvora. Smatralo se kako je crveni pomak kod kvazara kozmološki, tj. da je rezultat ekspanzije svemira, ali se raspravljalo i o mogućnosti lokalnih gibanja, premda nije zapažen odgovarajući plavi pomak u Dopplerovu efektu, odnosno gibanje kvazara prema motriteljima.

U to vrijeme nekoliko istraživača u časopisima spominje Gamowu teoriju prema kojoj bi bilo moguće zapaziti uravnoteženo Planckovo zračenje u svemiru s temperaturom od 1 do 10 K.

Onda slijedi vrlo značajno otkriće: A. Penzias i R. Wilson (SAD) objavljuju u srpnju 1965. (*Astrophysical Journal*) rezultate svojih istraživanja u radioastronomiji; mjereći radiometrom radiošum iz Mliječne staze i tražeći radiosignale od ostataka jedne supernove, naišli su na neočekivano zračenje (koje im se u početku mjerenja činilo kao šum), koje je dolazilo iz svih smjerova (neovisno o usmjerenju njihove antene), a odgovaralo je temperaturi Planckova spektra crnog tijela od 3,5 K i valnoj duljini od 7,4 cm; autori članka nisu spominjali značenje otkrivenog zračenja za kozmologiju. Tek je R. Dicke sa suradnicima, koji je poznao BB teoriju Lemaîtrea i Gamowa, i razvijao ju, prepoznao značenje otkrića tog sveprisutnog mikrovalnog zračenja kao zaostalog prvotnog zračenja iz velikog praska i evolucije svemira, tj. kao kozmičko pozadinsko mikrovalno

zračenje. Mjerenja tog pozadinskog zračenja poslije su ponavljana nekoliko puta i sad se uzima da KPMZ odgovara zračenju crnog tijela temperature 2,7 K.

Tim otkrićem okončana je kontroverza i proturječje između BB i SS teorija te je u kozmologiji znanstveno prihvaćena evolucijska teorija velikog praska kao teorija standardnog modela svemira.

U godinama koje su slijedile pa do danas, značajniji teorijski zahvat zbio se (1981.) dogradnjom inflatornog modela u Big Bang teoriju svemira (naglo eksponencijalno napuhavanje svemira u razdoblju od 10^{-35} do 10^{-32} s nakon prapraska), a od empirijskih događaja najznačajniji su rezultati astronomskih istraživanja iz 1999. god., koji su pokazali da se svemir ubrzano širi; time su otvorena neka nova pitanja u modernoj kozmologiji, pa se već kaže da je ovo zlatno doba kozmologije.

ZAKLJUČNO O OSVRTIMA ZNANSTVENIKA

Pogledajmo još neke osvrte samih znanstvenika na navedene alternativne modele svemira, a u svjetlu vjere, odnosno svjetonazora ili filozofije prirode.

S napretkom astronomije i kozmološke teorije zasnovane na fizikalnim zakonima, povezanost ili međuovisnost kozmologije i religije smanjuje se, ali ne iščezava i ne čini se da će nestati.

Ekspandirajući svemir i Lemaîtreova teorija Big Banga katkad su se prikazivali kao potpora Crkvenom učenju o kreaciji ili stvaranju svijeta, premda je većina astronoma autonomno otklanjala takav zaključak. Jedan od oštrih kritičara takva prikaza bio je B. Russell, koji primjećuje (1931.) [Kragh, 1997., str. 251]: "Teolozi su vrlo zahvalni za male milosti, i oni se ne brinu kakvog Boga im znanstvenik nudi tako dugo dok im Ga uopće nudi." On također prigovara afirmiranim znanstvenicima Eddingtonu i Jeansu za njihov kršćanski svjetonazor.

Nekoliko poznatih istraživača otvoreno iskazuje svoju kozmološku teoriju i na vjerski način, pa britanski teorijski fizičar E. Whittaker navodi (1940.) kako moderna znanost i vremenski početak svemira u novoj kozmologiji pokazuju opstojnost Boga kao posljednji uzrok svijeta; on također odbacuje panteizam, jer ako se Boga izjednači s kreativnom evolucijom, onda bi bilo nužno da i Bog bude stvoren, što je besmislica.

Lemaîtreova intelektualna pozicija može se okarakterizirati kao epistemčki optimizam; Bog je dao čovjeku umne sposobnosti da može otkriti svaki aspekt svemira. On je mišljenja da su znanost i teologija odvojena područja, premda u konačnici vode istome cilju, ali ih ne treba miješati.

O Gamowljevim religijskim pozicijama ne može se puno reći; jedno vrijeme (1950.) favorizirao je oscilirajući model svemira, kod kojega svakom događaju Big Banga prethodi jedan drugi prasak, kao prethodni svemir. U predgovoru knjizi *Stvaranje svemira* navodi kako on na "stvaranje" ne gleda kao "pravljenje nečega iz ničega", nego kao na "pravljenje oblika nečem bezobličnom".

Hoyle i suradnici, koji su branili SS model svemira sve do kraja šezdesetih godina 20. st. (i onda priznali neuspjeh), sa svojim osvrtima na vjeru i teološke implikacije u kozmologiji izazivali su uglavnom polarizaciju u javnosti, a veliki dio vjerske zajednice gledao je na njihove materijalističke izjave kao na potkopavanje kršćanske vjere. Povjesničar znanosti i benediktinski redovnik S. Jaki, navodi: SS teorija je kvaziznanstvena i antireligiozna. Ipak, pojedini znanstvenici (npr. B. Lovell) nisu gledali na SS kozmološki model (širenje svemira uz trajno kontinuirano stvaranje materije) kao nastup protiv teizma, premda bi se ovdje mogao prepoznati filozofski pristup kod kojega je Bog više imanentan svijetu nego transcendentan.

Pojedini suvremeni istraživači željeli bi (na račun matematičkih pretpostavki) prikazati svemir potpuno autonomnim, kojemu ne bi bio potreban nikakav vanjski utjecaj; odnosno, svemir ne bi trebao biti stvaran niti razaran (o njemu bi se moglo reći samo da – jest); štoviše, izravno bi se željelo pokazati da u stvaranju svemira Bogu nema mjesta [Hawking, 1998].

U izjavi od 1. lipnja 1988. godine [Kragh, 1997., str. 259] papa Ivan Pavao II. navodi: "Kršćanstvo posjeduje izvore svojeg opravdanja u sebi samom i ne očekuje od znanosti da mu bude prvi apologet, branitelj vjere"; također naglašuje kako je protiv – "nekritičnog i prebrzog korištenja novih teorija, kao što je Big Bang teorija u kozmologiji, u apologetske svrhe".

Koliko god se standardni kozmološki Big Bang model temelji na fizikalnim zakonima, on je ipak nekoliko važnih pitanja ostavio bez odgovora, među kojima su [Turner, 1996]: količina i sastav tamne tvari, uzrok stvaranju prvih velikih nakupina tvari (početak evolucije zvijezda, uzrok homogenosti svemira, što je ili tko je započeo

ekspanziju svemira, što je zapravo bio Veliki prasak, je li bilo drugih prasaka, što je uzrok ubrzanom širenju svemira [Planinić, 2004.; Kraus, 1999]?!]

U izvješću Akademije SAD-a (2003.) postavlja se jedanaest pitanja za novo stoljeće i bolje razumijevanje svemira, od kojih su prva tri: što je tamna tvar; koje naravi je tamna energija (koja se pretpostavlja kao uzrok ubrzanom širenju svemira); kakav je bio početak svemira [Hwang, 2004]?

Uz to, u izvješću se navodi i sedam preporuka za empirijska istraživanja koja bi mogla dati odgovore na postavljena pitanja; tako moderna kozmologija ima uporišta i nastupa sve više kao motriteljska znanost.

ABOUT THE UNIVERSE PAST AND THE DEVELOPMENT OF COSMOLOGICAL THOUGHT

Summary

In introduction, the first attempts in understanding natural phenomena and searching answers on cosmological questions, from pre-socratic philosophers to Aristotle then to Newton, are considered. Scientific cosmology of the 20th century is founded on Einstein's General theory of relativity and the equation of field gravity, which was later derived by different approaches of Friedman and Lemaître; the equation solutions show an expanding universe from a singularity, and the beginning of universe and Big Bang, that one takes as a standard cosmologic model today. Also another alternative model with a theory of the steady state universe is considered, which is meanwhile abandoned after new cosmologic discoveries and empiric arguments in the second half of twentieth century. Apart from open questions of modern cosmology, convictions and world views of some scientists are also given.

Literatura:

- Coles, P., Lucchin, F., *Cosmology*, J. Wiley, Sussex, 2002.
Copleston, F., *A history of philosophy*, Doubleday, New York, 1994.
Hawking, S., *Dal Big Bang ai buchi neri*, Superpocket, Milano, 1998.

- Hwang, W-Y, Cosmology as an observational or experimental science, *Modern Physics Letters A* 19 (2004), 945.
- Kragh, H., *Cosmology and controversy*, Princeton University Press, Princeton, 1997.
- Kraus, L., Cosmological antigravity, *Scientific American*, Jan. (1999), 35.
- Liddle, A., *An introduction to modern cosmology*, J. Wiley, Sussex, 2003.
- Planinić, J., Evolucija svemira, *Filozofska istraživanja* 73 (1999), 303.
- Planinić, J., *Kaos i kozmos*, Algoritam, Zagreb, 2001.
- Planinić, J., Otvorena pitanja u novoj kozmologiji, *Filozofska istraživanja*, (2004).
- Turner, M., *Cosmology 1996*, *Nucl. Phys. B* 59 (1997), 239.