

OD VELIKOG PRASKA DO STENE

I VELIKI PRASAK



I. VELIKI PRASAK

Univerzum (*vasiona, vaseljena, kosmos, svemir*) jeste prostornovremenski kontinuum u kome su sav prostor, materija, energija i vreme. Smatra se da je homogen, izotropan i u stalnom pokretu. Univerzum se sastoji od galaksija, zvezda, planeta, satelita, asteroida, meteora i drugih nebeskih tela, između kojih je prostor ispunjen sa veoma malo razređenog gasa, čestica prašine i zračenjem koje nastaje kada se čestice velike energije ubrzavaju različitim procesima u atmosferama zvezda. Prisutno je i u magnetnim poljima supernova ili u jezgrima aktivnih galaksija. Smatra se da sadrži i čestice antimaterije.

Univerzum je, kao Vi i ja, živ, zdrav i, naravno, lep. Ponekad je nepredvidiv, uzbudljiv pa i spektakularan. Iznenada blesne, eksplodira (vidimo, ali ne čujemo), zatim se primiri, začuti, predahne, pa opet nastavi. U svemiru se uvek nešto događa.

Samo je jedan univerzum unutar koga lepo živimo. Ne možemo ga uporediti sa drugim svemirima, što otežava njegovo proučavanje.

Posmatranjem sa Zemlje vidljiv je mali deo univerzuma. To je svojevrsni horizont koji je od nas podjednako udaljen u svim pravcima, pa treba biti obazriv sa značenjem koliko je nešto blizu ili daleko, posebno galaksije ili udaljene zvezde. Za sve vasijske objekte je karakteristično da su rastojanja između njih znatno veća od njihove veličine (slika 1).



Slika 1. Prostor u univerzumu

Prostor između galaksija, zvezda, planeta nije apsolutno prazan. Sadrži, veoma malo gasova, pre svega vodonika, manje helijuma, u kome „plivaju” čestice prašine, stena, minerala, elemenata koji apsorbuju, ali i raspršuju (razlažu) svetlost sa udaljenih zvezda i galaksija. Njihovo prisustvo utvrđeno je spektrohemijskim proučavanjima.

Temperatura u međuzvezdanom prostoru varira zavisno od udaljenosti izvora toplote. Kada su galaksije ili zvezde međusobno jako udaljene, temperatura je samo nekoliko Kelvina, dok je u blizini vrućih zvezda temperatura i do 10.000 K. U jatima galaksija koje emituju X-zračenje, temperature u prostoru mogu biti i do 100 miliona K. U njima je „smeštena” i „tamna materija i energija”, o kojoj se, za sada, malo zna.

Univerzum je u neprekidnom pokretu (slika 2). Mesec se okreće oko Zemlje, sve planete Sunčevog sistema oko Sunca, a Sunčev sistem unutar naše galaksije, Mlečnog puta, koji se takođe okreće unutar univerzuma. Isto važi i za druge zvezde i galaksije. Rotacija je uzrokovana gravitacionim kolapsom magline, „iskonskog gasa i prašine”, iz kojih su nastale zvezde i galaksije. Da je maglina (nebula), oblak prašine i gasa iz kog je „rođen” univerzum bila savršeno homogena po gustini i sfernog oblika (lopta), bila bi nepokretna. U „realnom životu”, međutim, magline su nehomogene i nepravilne. Njihovim hlađenjem i gravitacijom počinje kretanje i okretanje koje uzrokuje sudare čestica, povećanje mase, gustine i maglina dobija oblik diska.



Slika 2. Univerzum

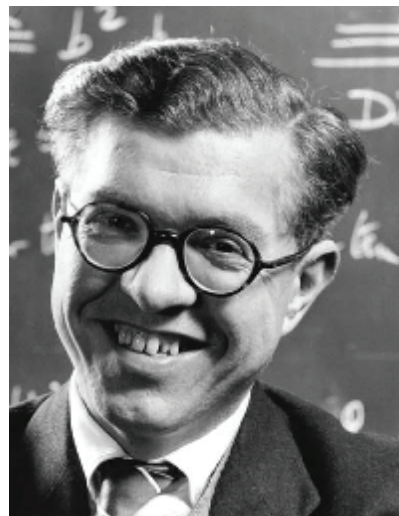
Ovim procesima dolazi do akceleracije (ubrzanja) čestica kada gravitaciona energija prelazi u toplotnu, koja, osim kretanja, omogućava i termonuklearne reakcije, stvaranje elemenata, jedinjenja, rađanje zvezda i galaksija. Da, ceo univerzum je u pokretu, mada pojedini astronomi smatraju da jedan njegov deo ipak miruje jer u nekim nebulama dominiraju turbulentna i haotična kretanja, zbog čega nema okretanja, rotacije.

I.1 NASTANAK UNIVERZUMA

Kako je nastao univerzum? Poreklo „sveta” bila je i ostala večita tema ljudi svih civilizacija. Počelo se od mitologije, a završilo sa astronomijom i kosmogonijom. Drevni grčki filozofi su smatrali da je univerzum nepromenjen, večan. Slična razmišljanja imali su Isak Njutn (Isaac Newton)³, Albert Ajnštajn (Albert Einstein), Edvin Pael Habl (Edwin Powell Hubble) itd. Ideja da univerzum ima početak, „život” (postojanje) i kraj relativno je nova, revolucionarna. Da li je svemir postojao ili je rođen? Ako je rođen, kako i gde je rođen? Kada je vreme počelo i šta je bilo pre njega? Ovo su pitanja svakog ljudskog bića na našoj planeti, na koja, za sada, imamo samo deo odgovora. Možemo li odgonetnuti deo pomenutih tajni?

Na osnovu velikog broja naučnih podataka, osmatranja, rezultata istraživanja, stvorene su hipoteze, koje se proveravaju, menjaju, dopunjavaju. Tako je i danas. Najšire prihvaćena je **teorija velikog praska**, koja, za sada, daje najpotpunije odgovore na pitanje nastanka univerzuma. Razvila se posmatranjem, istraživanjem vasiona i teorijskim razmatranjima koja su započela pre više od jednog veka. Ona je stub savremene astrofizike, uz podršku drugih naučnih disciplina, među njima i geologije.

Termin *big beng* ili *veliki prasak* (engl. *Big Bang idea*), skovao je briljantni britanski astronom Fred Hojl (Fred Hoyle; slika 3), koji se „rugao” Žoržu Lemetru (George Lemaitre) za njegov model „iskonskog atoma”. U to vreme, kao što znate, smatralo se da su galaksije „ostrvski svemiri” izvan Mlečnog puta. Hojl je prvi upotrebio izraz „veliki prasak” za vreme jednog od njegovih čuvenih radio intervjua na BBC-u, 28. marta, 1949. godine, a transkript je ubrzo objavljen u časopisu *The Event*. Za vreme sastanka u Pasadeni (Kalifornija), 1960. godine, Hojl je pozdravio Lemetra rečima „ovo je čovek velikog praska”. Iako se Hojl protivio teoriji velikog praska do svoje smrti, igrao je važnu ulogu u popularizaciji pomenutog termina i teorije, koja je kasnije (1965. godine), kada je otkriveno kosmičko pozadinsko mikrotalasno zračenje, opšte prihvaćena.



Silka 3. Fred Hojl
(1915–2001)

3 Imena naučnika, istraživača, filozofa, književnika, nebeskih tela u ovoj knjizi uglavnom su data i na srpskom i na engleskom jeziku.

Vratimo se stvaranju univerzuma koje se bazira na teoriji velikog praska. Prema dosadašnjim saznanjima, univerzum je stvoren, „rođen”, pre 13,7 milijardi godina. **Kako je dobijena ova starost?** Izračunavanjem količine nuklearne energije za „sjaj” zvezda dobijena je vrednost između 8 i 13 milijardi godina, koja je u saglasnosti sa teorijskim razmatranjima o nastanku univerzuma. Proučavanjem velikih klastera (grozdova) galaksija koji su u nastajanju, dobija se procenjena starost univerzuma koja je ispod 20 milijardi godina. Najtačnije vreme stvaranja univerzuma dobijeno je poređenjem trenutne brzine njegovog širenja i mikrotalasnog zračenja, a iznosi 13,7 milijardi godina.

Kako znamo da se univerzum širi? Do 20-ih godina 20. veka smatralo se da naša galaksija, Mlečni put, predstavlja ceo univerzum, koji se tokom vremena nije menjao. Ali, nije tako! Američki astronom Vesto M. Slajfer (Vesto M. Slipher) i švedski astronom Bertil Lindblad (slika 4) nezavisno jedan od drugog dokazali su da se univerzum širi.



Slika 4. Vesto Slajfer (1875–1969), levo, i Bertil Lindblad (1895–1965), desno

Američki astronom Edvin Habl i njegov asistent Milton Hjumason (M. L. Humason) takođe su utvrdili da se brzina posmatranih galaksija povećava sa udaljenošću. Kako god da gledamo, galaksije i zvezde „beže” od nas. Fenomen širenja univerzuma brzo je prihvaćen. Albert Ajnštajn je u početku ignorisao širenje univerzuma, ali je kasnije ono bilo deo teorije opšte relativnosti.

Otkriće da se vasiona širi predstavljalo je naučnu revoluciju početkom dvadesetog veka. Proučavanjem spektra svetlosti sa udaljenih galaksija utvrđeno je da su spektralne linije pomerene ka većim talasnim dužinama (Doplerov efekat), na osnovu čega je Vesto Slajfer 1912. godine utvrdio da se galaksije i zvezde udaljavaju od Zemlje. Zanimljivo je pitanje **da li univerzum ima centar ako se širi**. Odgovor je nema, jer se univerzum, smatra se, podjednako i neprekidno širi u svim pravcima. Ovo je teško razumeti jer univerzum ima četiri dimenzije (uključujući i

vremensku) i širenje se odvija u svim pravcima, analogno rastućem balonu, što je predložio britanski astronom Artur Edington (Artur Eddington) još 1930. godine

Merenjima je utvrđeno da se univerzum širi u prostoru i vremenu, koje se meri milionima svetlosnih godina. Ova ekspanzija se odvija u svim tačkama prostora i nema centar. Širenje je „sporo”, smatra se da treba oko 7 milijardi godina da bi univerzum udvostručio veličinu.

Da li univerzum ima granice? Odgovor na ovo pitanje je i da i ne! Da, jer je naš pogled u svemir ograničen na određenu udaljenost, ali je univerzum u celini beskonačan. Ako zamislimo sebe da možemo putovati ogromnom brzinom, mnogo brže nego svetlost, ne možemo ili nećemo se vratiti na početnu tačku! Ako prihvatimo hipotezu velikog praska da se univerzum neprekidno širi, bez zaustavljanja, odgovor je takođe ne.

Dvadesetih godina prošlog veka izvedena je i matematička jednačina koja je pokazala da se svemir širi, za razliku od statičkog modela, koji je u to vreme zagovarao Albert Ajnštajn.



Slika 5. Aleksandar Fridman (1888–1925), levo, i Žorž Lemetr (1894–1966), desno



Slika 6. Edwin Hubble (1889–1953)

Teoriju velikog praska su, nezavisno, definisali ruski kosmolog i matematičar Aleksandar Fridman (Alexandar Friedman) i belgijski astronom Žorž Lemetr (slika 5).

Značajan doprinos teoriji velikog praska dao je Edwin Hubble (slika 6), koji je tridesetih godina prošlog veka istraživao svemir u opservatoriji Maunt Vilson, koja je u to vreme imala najjači teleskop na svetu.

Astronomskim osmatranjima Edwin Hubble je izračunao rastojanje od Zemlje do pojedinih zvezda i galaksija i utvrdio zakonomernost između udaljenosti pojedinih galaksija i brzine kojom se udaljavaju od nas. Na osnovu dobijenih rezultata, izveo je zaključak da je svim galaksi-

jama bilo potrebno isto vreme za kretanje, od početnog do današnjeg položaja, tj. da je univerzum u početku bio sažet u jednu tačku. Zahvaljujući plodonosnom radu ovog genijalnog naučnika, utvrđena je i starost svemira od 13,7 milijardi godina.

Lemetr je 1931. godine ukazao i na to da analizom širenja unazad, tj. u prošlost, univerzum postaje sve manji do trenutka „iskonskog atoma”, u kome su bili sva materija, prostor i vreme.

Teoriju velikog praska matematički je objasnio i rusko-američki fizičar Džordž Gamov (George Gamow) četrdesetih godina prošlog veka. Ogromni koraci učinjeni su kasnih 90-ih godina dvadesetog veka, kada su jakim teleskopima sa Zemlje i osmatranjem kosmosa sa satelita otkriveni novi vangalaktički radio-izvori, kvazari, zvezde, planete i dopunjena saznanja o veličini, položaju, sastavu i međusobnom odnosu velikog broja nebeskih tela (slika 7). Pomenuta otkrića značajno su doprinela potvrdi teorije velikog praska, koja objašnjava poreklo i evoluciju univerzuma.



Slika 7. Veliki broj satelita svakog trenutka „posmatra” svemir

Veliki prasak nije eksplozija već događaj stvaranja univerzuma. Ne pitajući nikoga, dogodio se pre oko 13,7 milijardi godina iz jedne tačke u kojoj su bili sva materija, energija, prostor i vreme. Temperatura i gustina u tački bili su ekstremno visoki kada se „rodio” univerzum, koji je počeo da se u svim pravcima jako brzo širi i hladi, od veoma visoke do sadašnje temperature, koja je samo 3 stepena iznad apsolutne nule. Proces zvuči kao eksplozija, zbog čega je nazvan veliki prasak, ali to nije eksplozija u „središtu univerzuma” (univerzum nema središte!), već trenutak kada su stvoreni materija, energija, prostor i kada je počelo da otkucava vreme (slika 8).

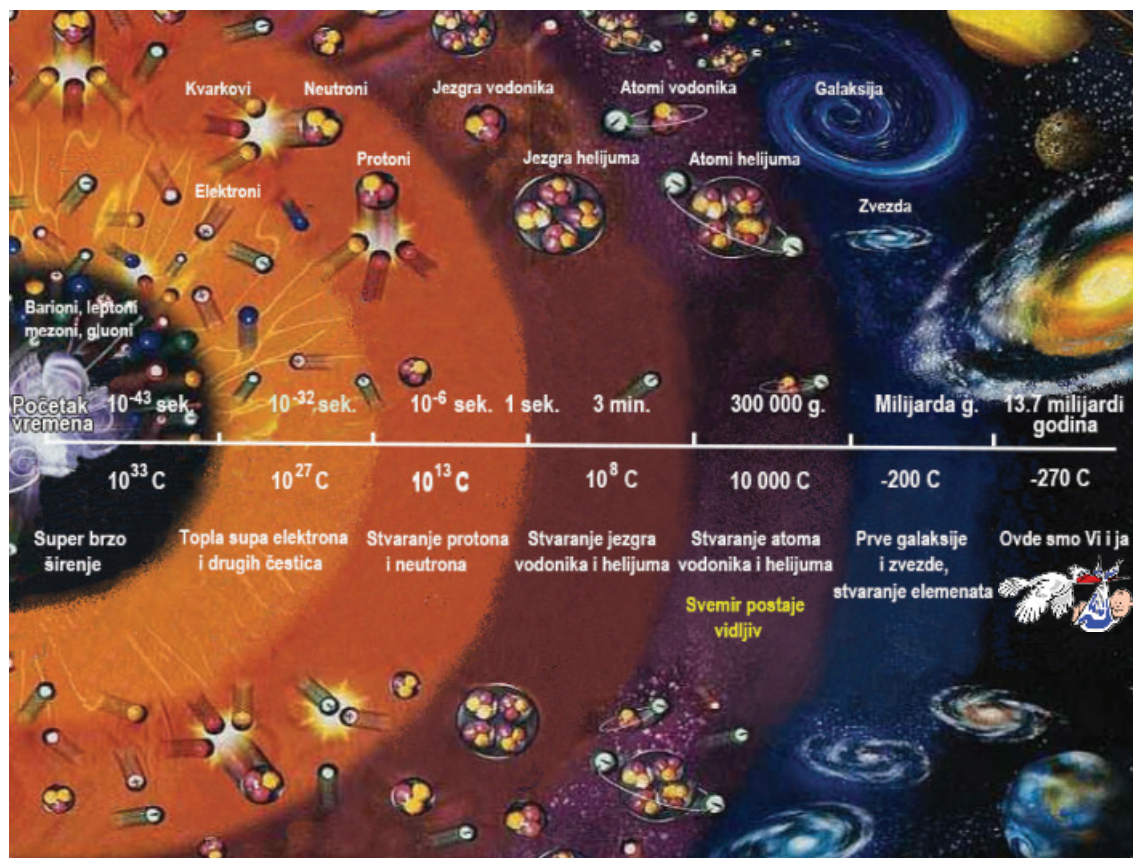


Slika 8. Veliki prasak

Univerzum nije iz jedne tačke eksplodirao i širio se prostorom nego se prostor širio iz beskrajno male tačke procesom koji se naziva **inflacija** (naduvavanje, ubrzano širenje). Iz velikog praska „iznedrio“ se univerzum, koji je odmah nakon stvaranja počeo da se hladi i širi noseći sa sobom svemirsku materiju. Širenjem prostora materija se razređivala, hladila od homogene „vruće plazme“ nepoznatih čestica do sadašnjeg nehomogenog hladnog univerzuma nastanjenog galaksijama, zvezdama. Širenje traje i danas. Početak stvaranja univerzuma još uvek je nepoznanica i van razumevanja jer ga postojeće teorije fizike, matematike i hemije ne mogu objasniti. Prostor je beskonačno mali, gustina i temperatura beskonačno veliki.

Ajnštajnova teorija relativnosti ne važi za vrednosti manje od tzv. Plankove udaljenosti (10^{-35} metara) i za događaje koji traju kraće od Plankovog vremena (10^{-43} sekundi). Unutar pomenutih vrednosti prostor, energija i vreme nemaju isto značenje kao u svakodnevnom životu. Objasniće ih teorija kvantne gravitacije, koja još uvek nije potpuno razvijena, ali naučnici traže odgovore. Jedna od teorija kvantne gravitacije je teorija struna, koja pretpostavlja devet prostornih dimenzija, od kojih šest „ne vidimo“ jer živimo u trodimenzionalnom svetu. Veličina ovog prostora je samo 10^{-35} metara, i u njemu titrajuće strune stvaraju 57 do sada poznatih elementarnih čestica (kvarkove, elektrone, fotone...).

Struna koja titra na jedan način predstavlja elektron, struna koja titra na drugi način foton, na treći graviton itd. Da bismo dobili predstavu o poređenju veličina



Slika 9. Istorija Velikog praska

ovog prostora, zamislimo da je atom velik kao Sunčev sistem, u kome je struna veličine atoma. Dodatnih šest dimenzija teoriju struna čine vrlo složenom.

Postojeće kvantne teorije polja, međutim, čestice posmatraju kao tačke. Svaka čestica može biti postavljena u vremenu i prostoru sa mogućnošću da se vrati u vreme, koje je „dozvoljeno” i za antičestice. Na osnovu interakcije čestica i antičestica određuju se njihove mase, električni naboj, rotacija itd. Ovaj model objašnjava tri od četiri osnovne sile: elektromagnetnu, slabu i jaku interakciju, ali ne i gravitaciju. Ajnštajnova teorija gravitacije, kao što znate, odnosi se na velike mase i sisteme u univerzumu.

U teoriji struna, umesto tačaka, osnovne jedinice su svedene na jednu vrstu struna koje vibriraju i posmatraju se kao elementarne čestice. Na taj način su „pomirene” sila gravitacije i kvantna mehanika pa je moguće opisati, objasniti ponašanje subatomske materije u ekstremno jakim gravitacionim poljima. Za razumevanje pomenutih procesa neophodan je „dodatak” devet, deset, pa i više prostornih dimenzija, za razliku od tri plus vreme, kojima sada „raspolazemo”. Za pojedine istraživače to je „previše”, ali teorija struna za sada najpotpunije objašnjava nastanak velikog praska i zašto je tako mali sadržaj gasova u današnjem univerzumu.

Vratimo se nastanku univerzuma na osnovu teorije velikog praska (slika 9). Ovaj veličanstveni spektakl dogodio se za samo 10^{-43} sekundi, na temperatu-

ri od 10^{33} K i gustini od 10^{96} kg/m³, iz elementarnih čestica - kvarkova, bariona, mezona, leptona, bozona, gluona, fotona itd., gde se stvarala (?) energija.

I vreme počinje da otkucava. Vladali su kvantni zakoni, a sve sile bile zajedno ili se ponašale kao jedna. Nakon samo 10^{-38} sekundi i na temperaturi od 10^{29} K, po „eksploziji”, fluktuacije u vakuumu uzrokuju ubrzanu ekspanziju, tokom koje se svemir eksponencijalno širio. Temperature su bile toliko visoke da se neuređeno kretanje odvijalo relativističkim brzinama, a čestice i antičestice u sudarima stalno stvarale i uništavale.

Smatra se da su na početku nastajanja univerzuma, pri vrlo visokim temperaturama, jaka, slaba, gravitaciona sila i elektromagnetna sila bile zajedno kao **velika sila ujedinjenja**. Širenjem i hlađenjem, tokom vremena, jedna po jedna sila se odvajala. Podsetimo se da današnjim svemirom „vladaju” četiri sile: **jaka sila**, koja „lepi” elektrone za jezgra protona, **slaba sila**, koja je „odgovorna” za radioaktivnost i cepanje atoma, **gravitaciona sila**, koja „drži” zvezde i planete na putanjama, i **elektromagnetna sila**, koju čine električna i magnetna energija.

Pri starosti svemira od 10^{-32} sekundi i temperaturi od 10^{27} K izdvaja se jaka sila, uz oslobađanje ogromne količine energije, koja je ubrzala inflaciju i širenje univerzuma.

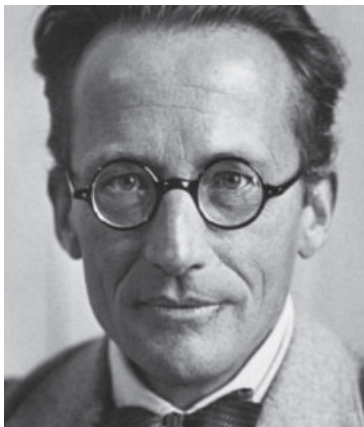
U ovom nezamislivo kratkom vremenu univerzum je kao „blesak” narastao od veličine protona (10^{-15} m) do kugle koja je deset miliona puta veća od Sunčevog sistema. Blesak ne možemo videti u optičkom delu spektra jer se veliki prasak dogodio davno, zbog čega je svetlost oslabljena, ali se nije mogao „sakriti” jer ga i danas uočavamo pomoću radio-teleskopa.

Na temperaturi od 10^{27} K nastala je asimetrija između materije i antimaterije, kada „mali” višak materije stvara sadašnji univerzum. Podsetimo se da je američki fizičar Karl Anderson (Carl Anderson) 1932 godine otkrio pozitron, koji je antičestica elektronu, tj. antimateriju u laboratorijskim uslovima.

Još uvek nema odgovora o nedostatku antičestica u nama dostupnom delu univerzuma. Zemlja sadrži vrlo malo, gotovo ništa, antimaterije. Sateliti su „skenirali” univerzum sa istim rezultatima. Kako objasniti neravnotežu između materije i antimaterije? Mogući odgovoru su sledeći: univerzum je započeo sa viškom materije; neki nepoznati proces stvorio je višak materije ili je antimaterija odvojena u neki drugi deo univerzuma.

Koliko antimaterije postoji u univerzumu?

Antimaterija nije mašta nekog teoretičara. Britanski fizičar Pol Dirak (Paul Dirac; slika 10) rešio jer problem antimaterije 1928. godine, za šta je dobio Nobelovu nagradu za fiziku 1933. godine. Za svaku vrstu elementarne čestice (proton, neutron elektron), postoji odgovarajuća antičestica. Za čestice sa električnim nabojem, antičestica ima suprotno naelektrisanje. Antielektron se naziva pozitron, ima istu masu kao elektron, ali suprotno naelektrisanje. Antiproton ima istu masu kao proton, ali negativno naelektrisanje. Antineutron nema naboj, ali se u interakciji



*Slika 10. Pol Dirak
(1902–1984)*

sa drugim česticama ponaša drugačije od neutrona. Da antimaterija postoji predviđeno je pre nego što je otkrivena. Antimaterije nema na Zemlji jer je „uništena”, transformisana u energiju u obliku gama zraka. Ona se proizvodi u najjačim akceleratorima kada se stvara jednak broj čestica i antičestica koje, nažalost, traju veoma kratko.

Antimaterije ima u kosmičkim zracima nastalim eksplozijom supernove, aktivnim jezgrima galaksija, interakcijama međuzvezdanih oblaka itd. Sunce nas „preplavljuje” atomima u solarnom vetru. Smatra se da su postojali antiatomi, koji su uništeni u sudarima sa atomima u našoj atmosferi, i pri tome su stvoreni gama zraci koji ugrožavaju život na Zemlji.

Naša galaksija je najvećim delom izgrađena od materije i proizvodi slabe emisije gama zraka koji mogu nastati kao visoko energetski fenomen bez uklju-



Slika 11. Višak materije stvorio je i stvara sadašnji univerzum

čivanja antimaterije. Ako neke galaksije imaju više antimaterije, njihove interakcije sa susednim galaksijama od materije stvoriće intenzivno gama zračenje. Još uvek nema odgovora zašto je u univerzumu više materije (slika 11) nego antimaterije. Sve vidljive galaksije, smatra se, izgrađene su od materije, ali galaksije od antimaterije verovatno postoje. Dokaz su emisije elektromagnetnih talasa koji se

razlikuju od zračenja proizvedenog „normalnim” objektima. Astronomi na osnovu teorijskih razmatranja objašnjavaju zašto u univerzumu ima više materije od antimaterije. U početku stvaranja, rađanja univerzuma, njihov odnos je verovatno bio približno jednak. Temperatura se vremenom snižavala kada fotoni nisu imali dovoljno energije za stvaranje antimaterije, što je, smatra se, omogućilo nastanak univerzuma.

Nastavimo sa opisom velikog praska. Posle 10^{-11} sekundi, događaj je postao manje spekulativan, kada su energije čestica „pale” na vrednosti koje se mogu dostići eksperimentima u laboratorijama, tj. prirodne sile i fizički zakoni dobijaju oblik koji „poznajemo”.

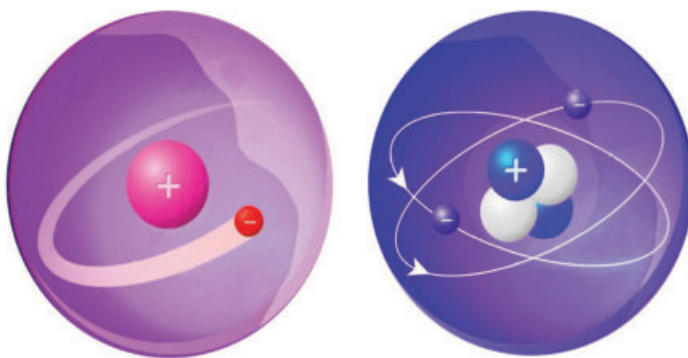
Pri starosti svemira od 10^{-10} sekundi i temperaturi od 10^{15} K razdvajaju se elektromagnetna i „slaba” nuklearna sila.

Nakon 10^{-6} sekundi i temperaturi od 10^{13} K, kvarkovi i gluoni obrazuju protone i neutrone koji imaju „masu”, dok se elektroni, koji su oko 2000 puta lakši, ponašaju kao zračenje. Protoni i neutroni slobodno prelaze jedni u druge uz oslobađanje energije. Za samo jednu sekundu od početka velikog praska, univerzum se ohladio na 10^{10} K, njegova gustina se smanjila i izgubila termičku ravnotežu. Protoni i neutroni počinju da se povezuju, a nakon 13,8 sekundi stvaraju prva jezgra atoma **vodonika** koja su se raspadala čim bi se stvorila.

Za oko tri minuta od početka velikog praska, temperatura je pala na 10^8 K, kada jezgra vodonika opstaju dovoljno dugo. Dolaskom dva protona i dva neutrona počinje stvaranje i stabilnih jezgara **helijuma**. Ovaj proces naziva se prvobitna nukleosinteza.

Za nepuna 4 minuta od početka velikog praska, oko četvrtina vodonikovih jezgara prešla je u jezgra helijuma, a vrlo mali deo u jezgra litijuma. Univerzum nastavlja da se širi, postaje sve veći i manje gustine. Fotoni se, zbog visoke temperature, sudaraju sa atomskim jezgrima vodonika, helijuma i elektronima tako da ne mogu preći veću udaljenost. Foton bi se odbio od jedne čestice, potom od druge, zatim i od treće i svetlost se nije kretala pravolinijski. Još uvek je nepoznanica kako je u to vreme izgledao univerzum. Verovatno kao gusta, vruća i neprovidna plazma ili gusti crni oblak sazdan od jezgara atoma vodonika i helijuma, slobodnih elektrona i fotona.

Vreme neumitno teče. Brzo prođe i prvih 300.000 godina. Univerzum nastavlja da se širi, hladi i „gubi” gustinu. Prepun je fotona i previše vreo za stvaranje prvih atoma. Kada bi se elektron približio jezgru helijuma ili protonima bio bi „udaljen” pod uticajem fotona jer su se stalno međusobno sudarali. Kada je temperatura pala na 6000 K (kolika je i temperatura površine Sunca), fotoni nisu „imali više snage” da izbacuju elektrone iz atomskih omotača pa su jezgra počela „hvatati” elektrone i formirati stabilne atome. Usporeni elektroni su bili privučeni pozitivno nabijenim jezgrima i „prisiljeni” na kruženje, kada se stvaraju prvi atomi vodonika i helijuma (slika 12). Vodonik ima najprostiju atomsku strukturu u prirodi. Zbog velike zastupljenosti u svemiru (kosmosu, univerzumu) i pomenute



Slika 12. Vodonik (levo) i helijum (desno) prvi su elementi „rođeni” u Univerzumu

„proste” strukture, smatra se da je vodonik prvi element rođen u svemiru. Vodonik je takođe prisutan u svakome od nas. Mi smo deca velikog praska. Da, u pravu ste. Kada pijete vodu, vi „gutate” vodonikove atome stare koliko i sam univerzum. Proračunima je utvrđeno da se nukleosintezom, stvorilo oko 77% vodonika, 23% helijuma i samo 0,0000001% litijuma. Odnos vodonika i helijuma je približno 3:1 u univerzumu i nije se značajnije promenio ni do danas, nakon više od 13 milijardi godina njihovog postojanja.

Analiza međuzvezdanih gasova u našoj i drugim galaksijama u saglasnosti je sa pomenutim odnosima sadržaja ovih elemenata, kao i eksperimentima u velikim akceleratorima. Drugi, teži elementi stvoriće se kasnije u galaksijama i zvezdama.

Stvaranjem prvih atoma vodonika i helijuma, oslobođeni fotoni „pobegli” su u univerzum poput bleska bombe. Nakon 300.000 godina od početka stvaranja, univerzum postaje **prozračan i vidljiv** jer se svetlost nesmetano kretala. Sa vremenom, energija se širila, bila manja i „razvukla” se, povećala talasnu dužinu, od gama zraka preko rendgenskih zraka do ultraljubičaste svetlosti. Nakon toga prolazi kroz vidljivo područje spektra, infracrveno i, na kraju, pozadinsko mikrotalasno zračenje. Mi se nalazimo unutar univerzuma, unutar velikog praska pa je pomenuto zračenje još uvek oko nas. Može se „videti” samo radio-teleskopima, kada ga pojačamo 100.000 puta.

Pozadinsko mikrotalasno zračenje značajno je doprinelo potvrdi teorije velikog praska. Smatra se da ono predstavlja „ohlađeno” zračenje zaostalo iz vremena ranog stvaranja svemira. Prvi ga je uočio kanadski astrofizičar Endrju Makelar (Andrew McKellar) 1940. godine (slika 13), posmatrajući cijanske molekule (radikali molekula CN) u međuzvezdanim oblacima u našoj galaksiji. Izračunao je njihovu temperaturu, koja je, na veliko iznenađenje, na tako velikom prostoru bila uvek ista, oko 2,4 K. Da, u pravu ste. Veoma hladno, ali iznad tačke apsolutne nule. Makelar nije objasnio mehanizam koji pobuđuje molekule, ali je prokome-



Slika 13. Endrju Makelar (1910–1960)

tarisao da je „temperatura prostora” iznad apsolutne nule misterioznog porekla. Odgovor na nastanak i poreklo zračenja dali su astronomi Penzijas (Arno Penzias) i Vilson (Robert Wilson), koji su ga nazvali „kosmičko pozadinsko zračenje”, a za rezultate istraživanja dobili Nobelovu nagradu za fiziku 1978. godine. Kosmičko pozadinsko zračenje je memorisana refleksija prvo stvorene svetlosti od elektrona koji su bili još slobodni (kasnije su „vezani” sa protonima stvarajući atome). Danas, posle više od 13 milijardi godina širenja univerzuma, to svetlo su radio-talasi sa centimetarskim do milimetarskim talasnim dužinama.

Merenja za vreme svemirskih misija *COBE* i *WMAP* su pokazala da je kosmičko pozadinsko zračenje u svim pravcima isto, izotropno i ima temperaturu od 2,725 K. Kao što smo pomenuli, analizom kosmičkog mikrotalasnog pozadinskog zračenja izračunati su starost i odnos energije i materije u univerzumu.

Vratimo se velikom prasku. Prostor se stalno povećavao, a materija (vodonik i helijum) i energija se širile i hladile. Temperatura univerzuma pala je na 18 K. Milijardu godina nakon velikog praska rađaju se prve **galaksije** i **zvezde**.

Galaksija je skup, porodica više miliona do više milijardi zvezda, planeta, njihovih satelita, meteorita i drugih nebeskih tela, prašine, gasa, i tamne (crne) materije, koje se gravitacijom drže na okupu. U njoj se rađaju, umiru i ponovo rađaju zvezde (slika 14).



Slika 14. Nastanak galaksija

Kako su galaksije nastale?

Nehomogenosti koje su u početku bile male tokom milijardu godina od velikog praska, prerasle su u ogromne filamente, „oblake”, **nebule**, izgrađene od gasova, molekula vodonika, delom i helijuma, koje su se vremenom hladile i postajale gušće.

Sadržaj pomenutih gasova u stvorenim nebulama nije bio ravnomeran. U zbijenim, gušćim delovima, veća sila gravitacije privlačila je i još više sabijala vodonik i helijum. Počela je rotacija, koja je uzrokovala da većina nebula dobije oblik diska.

Stvaraju se prve galaksije, prečnika nekoliko stotina hiljada svetlosnih godina, u kojima su u približno isto vreme stvarane i prve zvezde. Smatra se da je proces nastajanja galaksija (a i zvezda) bio intenzivniji u prvoj polovini postojanja univerzuma. Naša galaksija, Mlečni put, „rođena” je između 2 i 6 milijardi godina nakon velikog praska.

Jedna od hipoteza nastanka galaksija je i „hijerarhijski model”. Nebule, „oblaci” intergalaktičkog gasa, formiraju zvezde u malim grupama stvarajući protogalaksije. Tokom vremena one rastu, spajaju se i postaju veće. Veruje se da je broj malih galaksija ostao približno isti, ali se broj srednjih i velikih povećavao jer se spajanje nastavlja. Ima mišljenja da su prvo nastale velike galaksije, zatim srednje i na kraju male. Iz ovoga sledi da je broj velikih galaksija približno isti, dok su male galaksije formirane sporo, a njihov broj se vremenom uvećavao.

Prema dosadašnjim saznanjima, obe hipoteze su prihvatljive, ako se ima u vidu vreme nastajanja galaksija. U univerzumu „velike” galaksije su pomešane sa „malim” galaksijama, uočene su i interakcije i spajanja. U nekim područjima, međutim, dominiraju velike galaksije koje se smanjuju. Ko je prvi nastao, zvezde ili galaksije? Još uvek nema odgovora. One se stvaraju, spajaju i danas, ali sporije nego u početku.

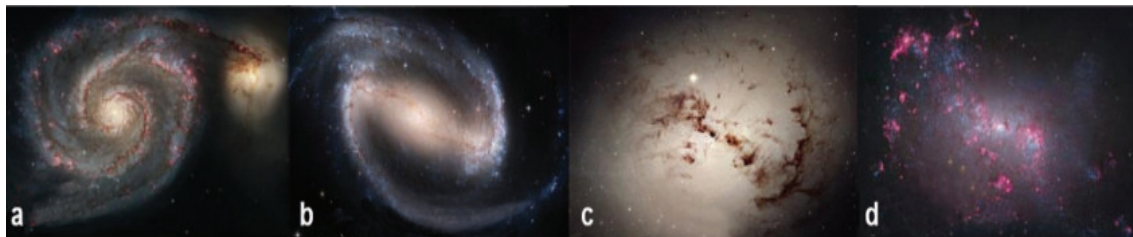
Prva generacija zvezda najvećim delom je nestala sopstvenim eksplozijama kada su stvarane protogalaksije, koje su počele da „sakupljaju” novorođene zvezde. Da, baš tako, prve zvezde stvorene su kada i prve galaksije. Pomenimo da neke od najstarijih zvezda, još uvek „žive”, postoje.

Koliko ima galaksija u univerzumu?

U vidljivom delu univerzuma postoji preko stotinu milijardi galaksija i to nije konačan broj. Izračunato je da ima oko 1000 galaksija po kvadratnom minutu luka.

Edvin Hابل je 1925. godine predložio klasifikaciju galaksija na osnovu njihovog vizuelnog izgleda, koja se i danas koristi. Prema njoj, galaksije mogu biti eliptične, spiralne, sa prečkama i nepravilne. Većina galaksija je spiralna, oko jedne trećine su eliptične, dok su nepravilne retke (slika 15).

Oblik i veličina galaksija zavise i od talasne dužine koju koristimo pri njihovom osmatranju. Treba imati na umu da se kod većine galaksija vidi samo „vrh ledenog brega”. Smara se da u središnjem delu galaksija ima barem po jedna supermasivna crna rupa, čija priroda još uvek nije dovoljno razjašnjena.



Slika 15. Tipovi galaksija:

a – spiralna, b – rešetkasta ili sa prečkama, c – eliptična i d – nepravilna

Galaksije su međusobno izolovane, ali neke i „vezane” silom gravitacije, gradeći galaktička jata. Njihov raspored u prostoru nije homogen.

Većina galaksija je prečnika od nekoliko hiljada do nekoliko desetina hiljada svetlosnih godina, ali su međusobno udaljene više miliona parseka (parsek, skraćénica izraza paralaksa po sekundi ili paralaktička sekunda, jeste jedinica mere kojom se izražava udaljenost zvezda i galaksija. Jedan parsek je udaljenost od $3,086 \times 10^{13}$ km, odnosno 3,26 svetlosnih godina).



Slika 16. Naša „komšinica” Andromeda

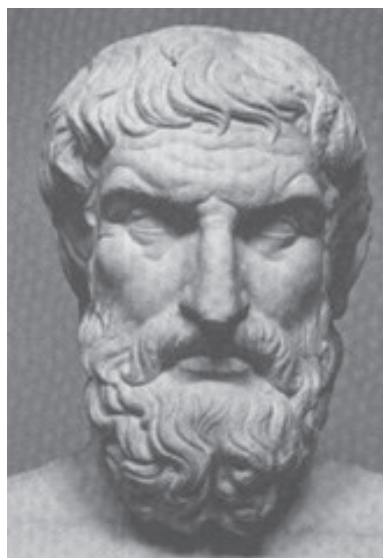
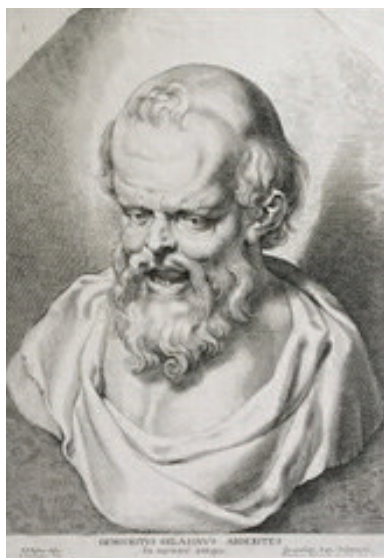
Najveće galaksije imaju preko milijardu zvezda, a najmanje, patuljaste galaksije, oko 10 miliona zvezda. Naša „komšinica” Andromeda pripada „gigant” galaksiji koja je udaljena „samo” 2,9 miliona svetlosnih godina (slika 16). Galaksija Mlečni put, u kojoj se nalazimo, može se videti noću na čistom nebu kao široki svetlosni trag. Njena egzotičnost je izvor divljenja za čoveka kada radoznalo pogleda u nebo (slika 17). Drevni Egipćani su Mlečni put videli kao zrna pšenice razbacana po nebu. Po starogrčkom mitu, to je mleko koje je curilo iz grudi boginje Here po nebu prilikom dojenja Herakla.



Slika 17. Pogled na Mlečni put sa Zemlje

Galaksija Mlečni put ima više od 100 milijardi zvezda svih veličina koje se „drže” na okupu silom gravitacije. U njoj se nalazi i Sunčev sistem, gde je smeštena Zemlja, a i mi na njoj.

Pomenimo da su antički filozofi, među njima Demokrit i Lukrecije (slika 18), smatrali da je galaksija skup zvezda koje su tako daleko da se ne mogu razlikovati pojedinačno. Dokaz je došao 1610. godine, kada je Galileo Galilej svoj teleskop okrenuo prema Mlečnom putu i rekao: „Naša galaksija je puna zvezda u malim



Slika 18. Demokrit (levo) i Lukrecije (desno)

grupama”. I zaista, kuda god okrenete teleskop ka Mlečnom putu uvek se vidi ogromna gomila zvezda. Sredinom XVIII veka, Johan Hajnrih Lambert, Tomas Rajt (Thomas Wright) i Imanuel Kant smatrali su da je Mlečni put ogroman disk zvezda sa Suncem u centru. Američki astronom Harlou Šejpli (Harlow Shapley; slika 19) 1920. godine utvrdio je da Sunčev sistem nije u centru galaksije Mlečnog puta, što je bila velika novina i ogroman pomak u astronomiji.



*Slika 19. Harlou Šejpli
(1885–1972)*

Naš Mlečni put je spiralna galaksija sa centralnim ispupčenim delom i spiralnim kracima. Najvećim delom je izgrađen od gasova, zvezda i drugih nebeskih tela. To je disk prečnika 100.000 svetlosnih godina, „debljine” samo 3000 svetlosnih godina. Mlečni put ima četiri glavna spiralna kraka i nekoliko kraćih, koji se nazivaju mamuze. Naše Sunce je u središtu jednog od kraćih krakova, dok je Orion približno na sredini diska. Sunčev sistem se nalazi oko 26.000 svetlosnih godina od centra galaksije. Sunce sa planetama kruži oko centra Mlečnog puta brzinom od 225 km/sat, što znači da je potrebno oko 220 miliona godina da se napravi pun krug. Strukturu naše galaksije nije lako utvrditi jer je unutrašnji deo diska ispunjen oblacima prašine, koji apsorbuju vidljivu svetlost. Uz pomoć infracrvene svetlosti, međutim, možemo videti jedan njen deo. Radio-astronomija takođe omogućava istraživanje strukture naše galaksije, jer na radio-talase ne utiče prašina. Osmatranja ukazuju na to da su u centralnom delu Mlečnog puta zvezdana jata, gusti oblaci prašine i gasa, kao i crna rupa, koji emituju jake radio-talase. Smatra se da je naša galaksija, Mlečni put, rođena pre oko 10 milijardi godina i da je potrošila oko 90% raspoloživih gasova, pre svega vodonika i helijuma za stvaranje novih zvezda. Oko naše galaksije su dve patuljaste galaksije, Veliki Magelanov oblak i Mali Magelanov oblak, koje se vide i golim okom sa južne hemisfere (slika 20), naročito noću, gde se pojavljuju kao dva dela izdvojena iz Mlečnog puta.



Slika 20. Magelanov oblak (belo), pogled sa naše planete Zemlje

Veliki Magelanov oblak ima masu jedne desetine naše galaksije, a Mali Magelanov oblak samo njen stoti deo. Dobili su ime u čast velikog portugalskog moreplovca Ferdinanda Magelana. Od nas su udaljeni oko 150.000 svetlosnih godina.

Magelanovi oblaci su galaktički sistemi izgrađeni od prašine, gasa i nekoliko milijardi zvezda. Kompjuterske simulacije ukazuju na to da se trenutno približavaju i da će se spojiti sa Mlečnim putem za nekoliko desetina milijardi godina. Velika količina međuzvezdanog gasa, maglina, masivnih zvezda i ostaci supernova u obe galaksije ukazuju na to da i dok pijete kafu nastaju zvezde.

I.2 ZVEZDE

Pomenuli smo da su galaksije skupovi, porodice više miliona do više milijardi zvezda, planeta i drugih nebeskih tela, koje su stvarane u približno isto vreme, milijardu godina nakon velikog praska. Čovek je dete zvezda. Šta se to dogodilo da se većina elemenata iz zvezda nalazi i u nama? Da li je to igra u svemiru koja je trajala ili traje od vremena njegovog nastanka? Šta je zvezda, gradilac galaksija?

Zvezda je masivno gasovito sferoidno nebesko telo izgrađeno od jonizovanog gasa na visokoj temperaturi, u stanju plazme. Sila gravitacije teži da zgusne, sažme, zvezdu, ali se unutrašnji pritisak i visoka temperatura „opiru” ovom procesu. Energija oslobođena u jezgru zvezde je protivteža sili gravitacije koja omogućava njenu ravnotežu, postojanje.

Zvezde su različite veličine. Najmanje su neutronske zvezde, prečnika do nekoliko desetina kilometara, a najveće, prečnika od stotina miliona kilometara, 1000 puta su veće od Sunca. Neke od njih izgledaju veće zbog efekta difrakcije svetlosti u teleskopu. „Normalne” zvezde su prečnika između 1/10 do 10 puta većeg od prečnika Sunca.

U univerzumu je bezbroj mesta gde se, i dok čitate ovaj tekst, stvaraju, rađaju zvezde. Ovaj proces dešava se brzo, tokom ljudskog života. Najbliži primer je u sazvežđu Orion, koji se na našem nebu vidi od avgusta do aprila. Teleskopom se uočava mutni obris, Orionova maglina, oblak gasa i prašine, kolevka novih zvezda (slika 21).



Slika 21. U sazvežđu Orion upravo se rađaju zvezde

Starost i sastav zvezda određuju se na osnovu njihove mase, temperature i sjaja. Neke od njih stare su koliko i univerzum, oko 13 milijardi godina, druge se nalaze u procesu nastajanja.

Prve zvezde, kao i galaksije u kojima se nalaze, rođene su „rano”, 200–500 miliona godina nakon velikog praska. Smatra se da su bile znatno veće od našeg Sunca. Najstarija zvezda u našoj galaksiji je ON 1523-0901, veličine nešto manje od Sunca. Starost je izračunata na osnovu tragova radioaktivnih elemenata urana i torijuma u njenoj atmosferi. Nastala je pre 13,2 milijarde godina, samo 500 miliona godina nakon velikog praska.

Kako je nastalo naše Sunce, kao i ostale zvezde koje grade galaksije? Odgovor je – hlađenjem nebula, koje se nazivaju i magline.

Šta su nebule?

Nebule (latinski „oblak”) jesu akumulacije, nagomilanja, međuzvezdanog gasa, vodonika i helijuma, i prašine. Različite su veličine, od jedne do više od 1000 svetlosnih godina, i mase od dela Sunca pa do milion puta veće. Postoji nekoliko vrsta nebula, od kojih su neke:

- **emisione nebule**, koje emituju, zrače; to su oblaci vrelog vodonika, helijuma i prašine; vezuju se za područja u kojima nastaju zvezde; „osvetljene” su ultraljubičastom svetlošću od mladih zvezda koje su u njima nastale ili nastaju; ova mesta astronomi nazivaju H-II regioni zbog velike količine jonizovanih atoma vodonika;

- **planetarne nebule** su „mehuri” vrelog gasa koji, kao i emisione nebule, zbog stvaranja zvezda, imaju efekat fluorescencije; često su spektakularnog oblika; nastaju tokom poslednje faze stvaranja zvezda čija je masa i do osam puta manja od Sunca;

- **reflektujuće nebule** su izgrađene od relativno hladnog vodonika, helijuma i prašine, koji su po prirodi tamni, ali su, zbog refleksije svetlosti obližnjih zvezda na zrnima prašine koje sadrže, svetle; ove magline su takođe vezane za područja stvaranja zvezda, poput onih u Plejadama;

- **tamne nebule** su slične reflektujućim i vide se refleksijom svetla sa udaljenih zvezda; posmatranjem u infracrvenim i radio-talasima unutar njih uočena su „rađanja” zvezda;

Poseban slučaj je **Bokova nebula**, sa veoma gustim, hladnim oblakom gasa (spada među najhladnije objekte u svemiru, sa temperaturom od samo nekoliko desetina Kelvina) u kom se verovatno nalaze protozvezde.

- **Ostaci supernove** (u tekstu koji sledi biće objašnjeno šta je supernova) jesu oblaci zvezdanog materijala „proterani”, izbačeni tokom eksplozije supernove. Zbog međusobnog sudara čestica stvara se svetlost koja se može videti stotinama godina posle eksplozije, češće u formi radio-talasa ili X-zraka.

Pomenute vrste nebula, oblaka gasa i prašine postoje i u našoj galaksiji.

Vratimo se pitanju kako nastaju zvezde. Da bi se stvorila zvezda, potrebno je

da u nebuli bude niska temperatura, oko 10 K, i više od 30.000 molekula vodonika po cm^3 . U uslovima kada je temperatura blizu apsolutne nule, naglo se smanjuje kinetička energija atoma i znatno povećava sila gravitacije, koja u ovim uslovima dominira (slika 22).

Atomi koji su bili na velikom međusobnom rastojanju, zbog povećane sile gravitacije, počinju da se zbližavaju, sudaraju stvarajući gušće delove, oblake od jonizovanog vodonika, delom i helijuma, koji imaju i do 1000 puta veću gustinu od nebule. Pomenimo i „pomoć” gravitacionih talasa galaksije uz koju nastaje zvezda.

Rotirajući oko svoga centra, nebula stvara (i emituje) gravitaciono polje, koje doprinosi nastajanju zvezda i ubrzava ga. Zbog pomenutih procesa nebula vremenom postaje, gušća, manja i ovalna (slika 22a).

I vreme, slažete se, neumitno teče. U središnjem delu nebule stvara se „gusti oblak” od molekula jonizovanog vodonika i malo helijuma (slika 22b).

Usled povećane sile gravitacije pomenuti gasovi se sve više sabijaju stvarajući **jezgro**, koje postaje gušće, uz povećanje pritiska i temperature (slika 22c). Oko jezgra su ljuska manje gustine i spoljni omotač izgrađen od jonizovanih molekula pomenutih elemenata koji su tek počeli da se sabijaju (slika 22d).

Da bi sabijanje gasova koji će dati jezgro bilo potpuno, buduća zvezda mora da izgubi veći deo momenta impulsa (fizička veličina kojom se meri rastojanje materijalnog tela da nastavi da rotira) jer bi centrifugalna sila onemogućila njeno sabijanje. Pri ovim procesima gubi se velika količina mase.

Da bi se stvorila, zvezda mora da ima 0,084% mase Sunca kako bi gravitaciona sila bila dovoljno jaka da u njenom jezgru počne fuzija. Proces gravitacionog sabijanja gasova iz nebule, oblaka vodonika i helijuma do nastanka zvezde traje nekoliko stotina hiljada godina.

Sastav i životni vek zvezda zavise od veličine nebule u kojoj se stvaraju.

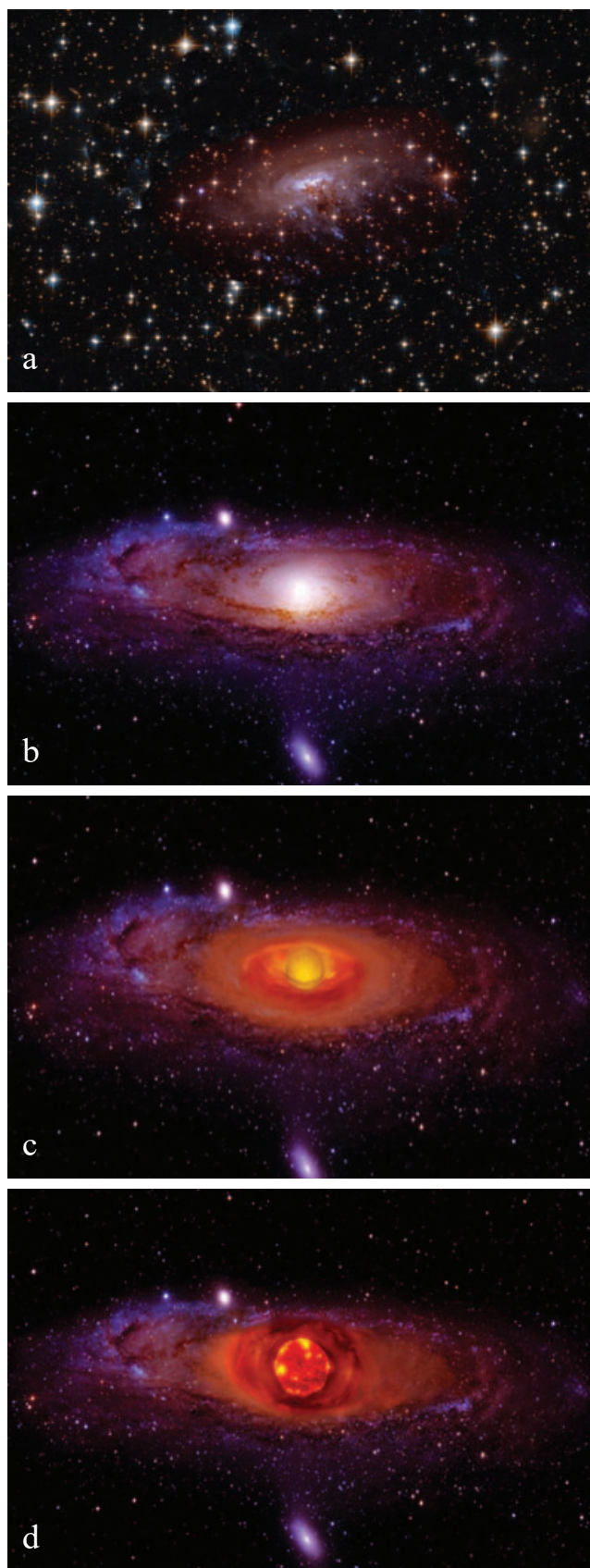
U „**malim**” nebulama, pomenutim procesima sabijanja i sile gravitacije ne dostižu se dovoljan pritisak i temperatura za početak nuklearne fuzije. Njihovim hlađenjem nastaje mala, tamna zvezda, smeđi patuljak.

U nebulama **srednje veličine** stvaraju se zvezde čija masa iznosi 7–10% mase Sunca. Kada se u središnjem delu nebule, jezgru, sabijanjem i silom gravitacije dostignu kritična temperatura i pritisak, počinju nuklearne reakcije u kojima vodonik fuzijom prelazi u helijum, tzv. proton–proton ciklus (slika 23).

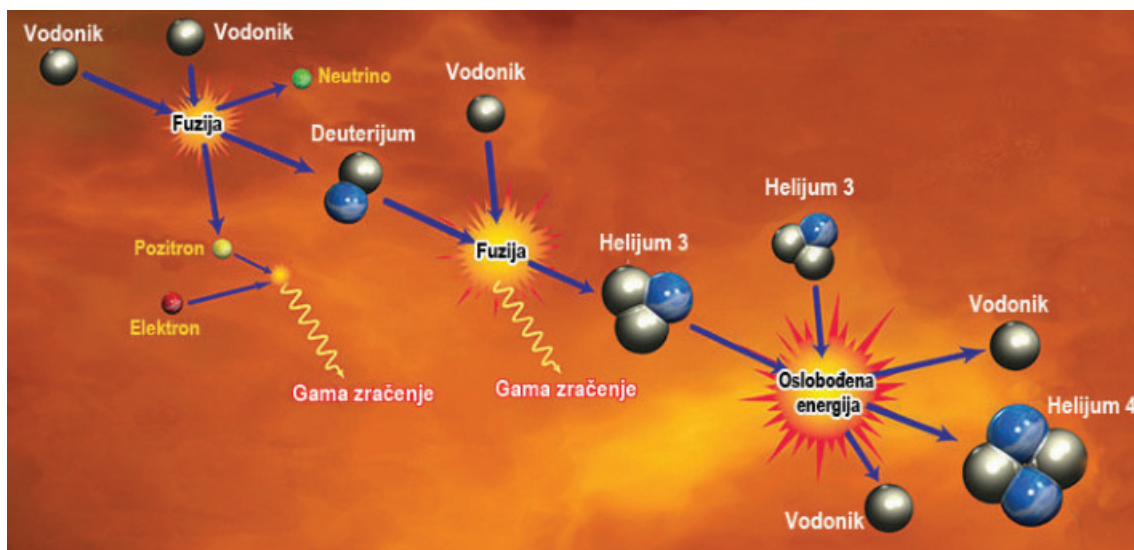
Stvorena toplota iz jezgra odlazi ka površini, hladi se i konvekcionim strujanjem ponovo vraća u jezgro. Ovim procesima vodonik u jezgru se stalno „hrani”, održavajući nuklearnu fuziju.

Kada se potroši sav vodonik, zvezda postaje lopta od helijuma, braon patuljak, koji ne emituje svetlost. Doživeće „duboku starost”, nekoliko desetina milijardi godina.

Iz veće nebule, **još uvek srednje veličine**, stvoriće se zvezda poput našeg **Sunca**. Hlađenjem nebula postaje gušća, povećava se sila gravitacije i počinje njeno zagrevanje. Temperatura u jezgru, prema proračunima, dostiže neverovatnih nekoliko miliona K, dok je na površini „samo” nekoliko hiljada K.



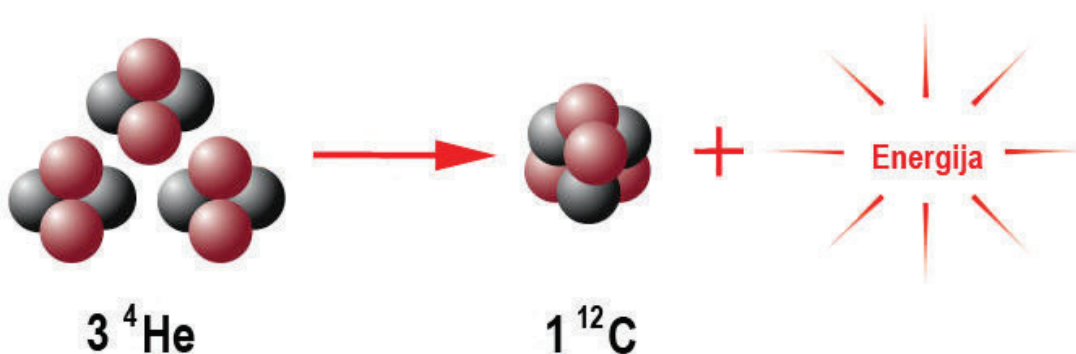
Slika 22. Nastanak zvezda



Slika 23. Fuzija vodonika i helijum

U jezgru počinje nuklearna fuzija, pri kojoj vodonik prelazi u helijum, menjajući odnos sadržaja ova dva elementa. Ovim procesima nastajanja, postojanja i umiranja pomenutih elemenata oslobađa se ogromna količina energije. Masa helijuma je 0,7% manja od mase vodonika, razlika se transformiše u energiju. Oko jezgra je ljuska, gde se nuklearnom fuzijom stvara toplota koja se unutar nje kreće konvekcionim strujanjima.

Proces nastajanja zvezde se nastavlja. Sila gravitacije uzrokuje da se jezgro dalje sabija, povećavajući temperaturu. Kada se steknu uslovi, tj. temperatura dostigne nekoliko miliona stepeni, u njemu počinje nova nuklearna fuzija u kojoj tri atoma helijuma daju **ugljenik** uz emisiju gama zračenja (slika 24).



Slika 24. Stvaranje ugljenika

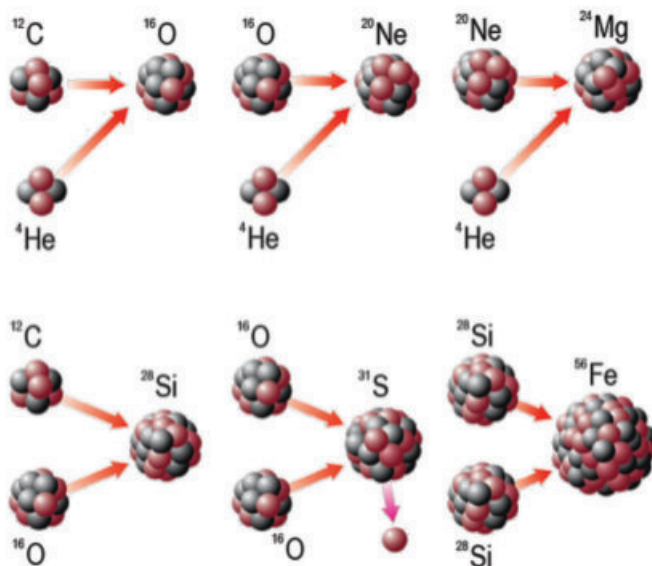
Narednom fuzijom ugljenik sa helijumom stvara **kiseonik**. Oko novostvorenog jezgra su ljuska od kiseonika, omotač sa nižom temperaturom i ugljenikom, zatim sa helijumom, i na kraju ljuska, omotač, u kom zaostali vodonik još

uvek nuklearnom fuzijom prelazi u helijum, koji delom odlazi u spoljnu atmosferu. Rađa se zvezda srednje veličine, poput Sunca. Za oko 10 milijardi godina potrošiće svoje „gorivo” za stvaranje pomenutih elemenata. Nakon toga, za oko 100 miliona godina, povećava se njen volumen, ona postaje crveni džin, zatim planetarna nebula, i na kraju „iznedri” belog patuljka, sa jezgrom od ugljenika i kiseonika.

I na kraju iz **velikih, ogromnih nebula** rađaju se zvezde veće i nekoliko desetina puta od Sunca.

Žive, nažalost kratko, „samo” oko 70 miliona godina. Proces nastajanja su slični kao kod prethodno pomenutih, ali znatno brži, uz stvaranje novih elemenata.

Kada se u jezgru stvore ugljenik i kiseonik, usled sve veće sile gravitacije, proces se nastavlja. Povećava se gustina, rastu pritisak i temperatura, i daljom fuzijom od ugljenika i kiseonika nastaju novi elementi poput **magnezijuma**, **silicijuma** i **gvožđa** (slika 25). Oko jezgra sa gvoždem su ljuske koje sadrže sve lakše elemente. Nakon stvaranja gvožđa, proces fuzije prestaje. Za nastajanje novih, težih elemenata potrebna je energija, koja se troši, umesto da se oslobađa, kao što je to bilo do tada (slika 26).

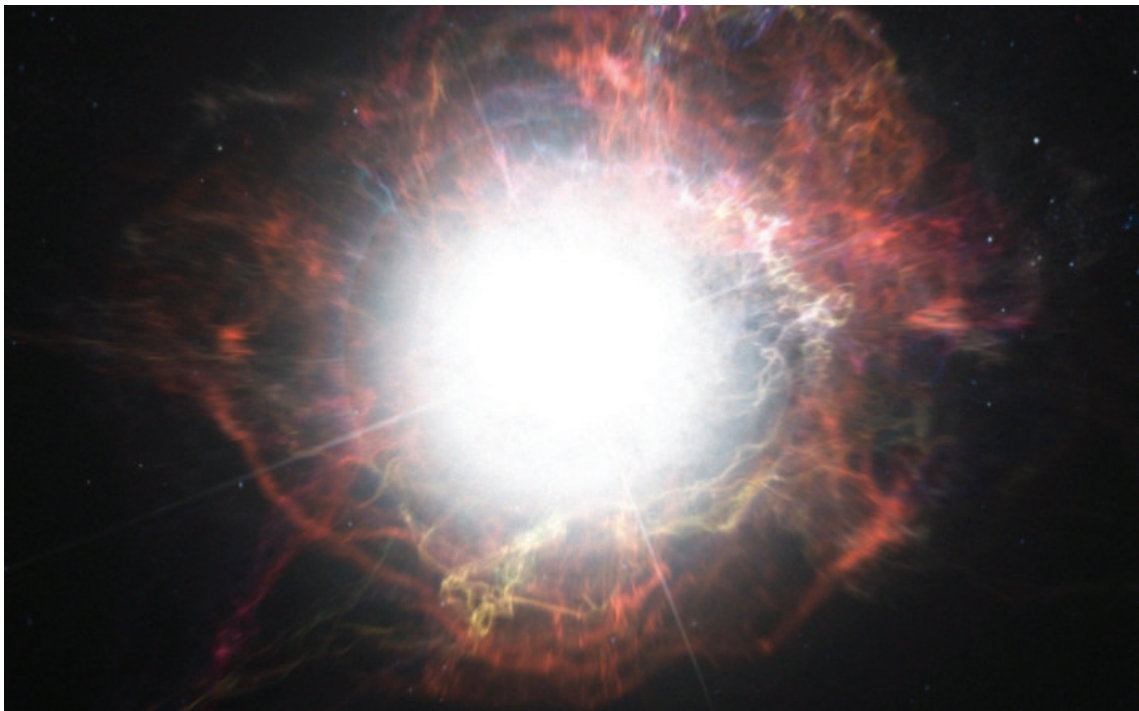


Slika 25. Stvaranje elemenata u zvezdama

Sve se dešava „brzo”, posmatrajući iz ugla kosmičkog vremena. „Samo” nakon 5 miliona godina od pomenutog procesa, zbog povećanja gustine u jezgru, akumulira se ogromna količina energije i zvezda postaje superdžin. Kada se potroši sve „gorivo”, zvezda se gasi, tj. hladi, skuplja i na kraju urušava pod sopstvenom težinom. U jednom trenutku, akumulirana toplotna energija se oslobađa, dolazi do eksplozije i stvara se nova zvezda, **supernova**, uz nastajanje novih elemenata, težih od gvožđa, ali i jedinjenja, uz oslobađanje ogromne količine energije (slika 27).



Slika 26. Zvezde su fabrike za proizvodnju elemenata



Slika 27. Eksplozija supernove

Supernove su ekstremno svetle zvezdane eksplozije praćene velikim emisijama zračenja, koje mogu da premaše svetlost celokupne galaksije u vremenu i do nekoliko nedelja. Energija koja se oslobađa pri ovom procesu može biti veća od količine energije kojom je stvoren Sunčev sistem. Eksplozija supernove kreće iz jezgra zvezde brzinom od oko desetine brzine svetlosti, kada nastaje udarni talas, koji se kreće kroz međuzvezdani prostor, stvarajući ljusku gasa i prašine koja je poznata kao ostatak supernove. Postoji nekoliko tipova supernove, a pomenućemo najvažnije.

Masivne supernove dominiraju. U njima je zaustavljeno stvaranje energije nuklearnom fuzijom jer je gorivo istrošeno. Gravitacionim kolapsom stvara se neutronska zvezda ili crna rupa, uz oslobađanje ogromne količine gravitacione energije koja zagreva, a zatim „proteruje” spoljašnje delove, slojeve supernove.

Crne rupe su najveća moguća koncentracija materije u kojoj su, zbog ogromnog pritiska, protoni i elektroni spojeni u neutrone iz koje svetlost ne može da „pobegne”. Ovaj termin predložio je američki fizičar Džon Arčibald Viler (John Archibald Wheeler) 1968. godine. Prečnik crnih rupa je od 10 do 20 km, a ima ih i mnogo većih. Kada bismo Zemlju sabili u istim uslovima, bila bi veličine fudbalske lopte. U aktivnim galaksijama, smatra se, stvara se ogromna količina energije, koja se objašnjava prisustvom crnih rupa koje imaju milione puta veću masu od Sunca.

Pomenimo da se i velika orbitalna brzina zvezda blizu centara mnogih galaksija objašnjava prisustvom „crnih rupa”. Veruje se da i u našoj galaksiji, Mlečnom putu, postoji crna rupa, koja je oko četiri miliona puta veća od mase Sunca.

Druga vrsta supernove se formira kada zvezda beli patuljak akumulira dovoljno toplote, koja podiže temperaturu jezgra da započne fuziju ugljenika, uzrokujući da zvezda eksplodira.

Događaj supernova se javlja jednom na oko 50 godina u našoj galaksiji, ali i u drugim galaksijama slične veličine. Širenje udarnog talasa iz supernove važno je za stvaranje teških elemenata, kao i za nastanak novih zvezda.

Supernove su važne za život i stanje svemira, pošto su skoro svi elementi teži od ugljenika formirani u masivnim zvezdama, dok su elementi teži od bizmuta formirani u eksplozijama supernove. Podsetimo se da su vodonik i helijum prvi stvoreni elementi u svemiru, dok su ostali elementi nastali nukleosintezom ili kombinacijom velikih atomskih jezgara nastalih od manjih, koji su vezani za energetske događaje masivnih zvezda i supernova.

I.3 NASTANAK TEŽIH ELEMENATA

U masivnim zvezdama, neki elementi se stvaraju uzastopnim reakcijama nuklearne fuzije, počevši od fuzije dva atoma vodonika za stvaranje helijuma i daljim nuklearnim procesima za prelazak u ugljenik itd. Temperatura u masivnim zvezdama može biti dovoljno visoka da fuzijom ugljenik prelazi u magnezijum, ali se vrlo retko stvaraju novi elementi, koji zahtevaju fuziju dva jezgra veća od ugljenika. Stvaranje težih elemenata, smatra se, ide drugačijim procesom. „Hvatanjem” atoma helijuma većim atomskim jezgrom, ugljenikom, stvoriće se kiseonik, od kojeg, kada se u sledećoj fazi „udari” helijumom, nastaje neon. Proces „ulaska” helijuma pokazuje da se elementi sa masama od 4 (helijum), 12 (ugljenik), 16 (kiseonik), 20 (neon), 24 (magnezijum) i 28 (silicijum) ističu kao vrhovi.

Proces se nastavlja u zvezdama velikih masa sa sumporom 32, argonom 36, kalcijumom 40, titanom 44, hromom 48, gvožđem 52 i niklom 56, koji je nestabilan i brzo prelazi u kobalt, a zatim gvožđe 56, koje je najstabilnije od svih pomenutih elemenata, zbog čega je i prisutno u jezgri velikih zvezda. Pomenuti procesi „zahvataju” i helijum i najvažniji su u stvaranju pomenutih elemenata i njihove zastupljenosti.

Elementi teži od gvožđa stvaraju se sporijim procesom (astronomi ga nazivaju *s-proces*), koji uključuje „zahvatanje” i apsorpciju neutrona drugim jezgrima. U centralnom delu velikih zvezda, jezgra atoma gvožđa „uzimaju” neke od neutrona stvorenih kao nusprodukt nuklearnih reakcija. Proces dodavanja neutrona u atomsko jezgro menja izotop tog elementa u teži izotop, ali je i dalje isti element. Međutim, u nekom trenutku ima toliko neutrona da izotop postaje radioaktivan, kada nastaje jezgro novog elementa. Na primer, gvožđe 56 će dodati neutrone i postati gvožđe 59, što će se raspasti na kobalt 59. Kobalt 59 će zatim dodati neutrone da postane kobalt 60, koji se raspada na nikal 60, a proces nastavlja i dalje, stvarajući teže elemente. To znači da se svako nestabilno jezgro raspada na stabilniju formu pre dodavanja sledećeg neutrona. Smatra se da je ovo najvažniji proces za nastanak najtežih elemenata na Zemlji i u solarnom sistemu, uključujući zlato, olovo itd. Elementi teži od bizmuta ne mogu se proizvesti *s-procesom* (sporim procesom) jer su nestabilni i odmah se raspadaju „natrag” u bizmut. Drugi mehanizam, koji se zove brzi ili *r-proces*, jedini je poznat mehanizam koji može stvoriti najteže elemente, kao što su torijum i uranijum. Ovaj proces se javlja samo u eksplozijama supernova.

Smatra se da se u prvih 15 minuta eksplozije supernove stvara veliki broj slobodnih neutrona, tako da su broj procesa i brzina reakcija toliko veliki da čak i nestabilna jezgra zahvataju nove neutrone pre nego što se raspadnu na stabilnije

oblike. Na ovaj način stvaraju se svi elementi teži od bizmuta. Ovim procesom se objašnjava zašto su teški elementi toliko retki u svemiru.

ZAKLJUČIMO!

Rani ili prvobitni univerzum bio je izgrađen samo od vodonika i helijuma. Svi teži elementi su stvoreni u reakcijama nukleosinteze unutar zvezda ili u eksplozijama supernova. Ovaj model podržava opažanje da stariji globularni klasteri imaju više vodonika i helijuma, dok su mlađi, tokom vremena, obogaćeni težim elementima. Manje zvezde završavaju kao beli patuljci, a masivne zvezde spektakularnim eksplozijama u supernovama. Oba procesa stvaraju teške elemente, koji ulaze u sastav novih nebula, koje se vremenom skupljaju, komprimuju stvarajući nove zvezde udarnim talasima iz supernove ili drugim događajima. Još uvek je otvoreno pitanje koliko blizina okolnih zvezda preko zvezdanih vetrova i udarnih talasa, kao i uticaja eksplozije druge supernove, utiče na stvaranje elemenata. Pojedini istraživači smatraju da stvaranjem pojedinih elemenata dolazi i do međusobnih reakcija, kada nastaju jedinjenja, oksidi, sulfidi, silikati itd.

Neke mlade masivne zvezde uključuju i organski materijal, koji je kasnije zvezdanim vetrovima, a i drugim procesima otišao u međuzvezdani prostor. Pojedini istraživači smatraju da je ova organska materija dala i život na Zemlji.

Osmatranjima i proračunima je utvrđeno da masivne, velike zvezde „završavaju” život i prelaze u supernove. I tako milijardama godina one završavaju kao solarne magline. U kosmosu se na ovaj način stvorio i stvara ogroman broj zvezda. Za stvaranje solarnih sistema i našeg Sunčevog sistema neophodne su generacije eksplozija supernova. Smatra se da naše Sunce i većina zvezda u Mlečnom putu pripadaju najmanje trećoj generaciji nastajanja zvezda iz eksplozija supernova.

Rađanje zvezda, ako želite, možete posmatrati i pratiti više meseci. U Velikom Magelanovom oblaku 1987. godine registrovano je stvaranje supernove, koje je potvrdilo teorije o eksploziji zvezda, ali su „otkriveni” i neslućeni fenomeni u ovom procesu (slika 28).

Druga supernova u našoj galaksiji može biti Eta Karina, ali se ne može predvideti kada će eksplodirati – u narednih nekoliko godina ili za milion godina.

Masa ove zvezde je 100 puta veća od Sunčeve. Na njoj se uočavaju značajne promene, koje mogu biti procesi pred eksploziju.

Najspektakularnija eksplozija supernove u našoj galaksiji dogodila se 1054. godine, kada su kineski i korejski astronomi uočili svetlu novu zvezdu vidljivu golim okom i u toku dana.

I tako se zvezde, sudbine naše, kao i mi, rađaju, prolaze burnu mladost, ulaze u mirnu starost, oslabe i na kraju umiru da bi od njih nastajale nove zvezde.

Na nebu, zvezda se vidi kao tačka koja svetluca, treperi usled efekta zemljine atmosfere i njihove udaljenosti. Od zvezda su stvorena i mitološka bića. Ljudi koji veruju u sudbinu smatraju da je sve zapisano u zvezdama.



Slika 28. U Magelanovom oblaku rađaju se zvezde

Zašto sijaju zvezde?

Energija proizvedena u jezgru se oslobađa kao zračenje, svetlost, i prenosi ka spoljašnjim slojevima do njene površine. Zvezda počinje da zrači, sija, svetli. Količina energije koja dolazi iz njenog jezgra na površinu, njena temperatura i ukupna masa određuju boju zvezde.

Radi pojašnjenja ovih procesa, pomenimo zagrevanje gvožđa. Kada stavite komad ovog metala u vatru, on počinje da svetli crveno. Sa povećanjem temperature, prelazi u žuto, a na još većoj temperaturi u belo. Tako je i sa zvezdama. Sijaju jer su veoma topla tela. Spektralnom analizom svetlosti zvezda dobijaju se podaci o njihovoj površinskoj temperaturi, ali i hemijskom sastavu.

Zvezde su različitih boja. Ako imate dobar vid, zvezda Betelgez (engl. *Betelgeuse*) u sazvežđu Orion je crvena, Rigel je plava, kao što je i Sirijus, a bela zvezda je Vega. Sunce je belo, a kada je blizu horizonta, žuto zbog atmosferske apsorpcije. Oko gubi osetljivost na boje pri slabom osvetljenju – noću, pa su nam zvezde bele, mada su i one u boji, zavisno od temperature. Ako je na površini zvezde temperatura ispod 4000 K, ona emituje svetlost u infracrvenom delu spektra i dobija „crvenkastu” boju. Ako je temperatura iznad 7000 K, zvezda je u ultraljubičastom delu i daje „plavičastu” boju.

Zašto zvezde trepere?

Ovaj optički fenomen se javlja jer je zemljina atmosfera uvek u pokretu. Temperatura i gustina vazduha se menjaju sa visinom, što dovodi do varijacija indeksa prelamanja. Zbog toga je svetlost koju dobijamo od zvezda ponekad svetlija, a ponekad tamnija, zvezda treperi (slika 29). Sa okolnim planetama je drugačije.



Slika 29. Zvezdano nebo

U odnosu na zvezde, one su znatno bliže Zemlji, zbog čega je efekat treperenja znatno manji ili ga nema.

Koliko ima zvezda u našoj galaksiji?

Drevni astronomi su verovali da su zvezde na nebu fiksne, dok planete to nisu (planeta na grčkom znači „lutalica”). Novija astronomska proučavanja su pokazala i dokazala da zvezde nisu stacionarne, okreću se u orbiti, oko centra galaksije.

Tačan broj zvezda još uvek ne znamo? Imamo jake teleskope, svemirske letilice, računare, ali odgovora još uvek nema. Da se malo ohrabrimo, opravdamo. Neke zvezde su zaklonjene sopstvenim gasom i prašinom, a neke veoma blede. Treba imati na umu i položaj Sunčevog sistema i naše Zemlje, odakle se ne mogu videti sve zvezde u našoj galaksiji. Sunčev sistem u kome se nalazimo se nalazi na pola puta duž poluprečnika galaksije, zbog čega i nema podataka o ukupnom broju zvezda u našem neposrednom okruženju, prečnika 330 miliona svetlosnih godina. Koliko je to malo u odnosu na prečnik naše galaksije, koji je oko 100.000 svetlosnih godina.

Najbliži sused našeg Sunčevog sistema je Proksima Kentauri, deo sistema Alfa Kentauri, koji se nalazi u južnoj hemisferi u sazvežđu Kentaur (slika 30). Alfa Kentauri je udaljena 4,4 svetlosne godine od Sunca. Tako će biti narednih 33.000 godina, kada će, usled brzog udaljavanja, biti zamenjena drugom zvezdom, Ross 248.

Završimo priču o velikom prasku, galaksijama i zvezdama. Većina elemenata zvezda je i u nama. Da li Vi, ja i zvezde imamo istu ili sličnu životnu priču? Od prvoga dana postojanja zvezde prate čoveka kroz religiju, mitologiju, filozofiju,

poeziju. Sunce se svako jutro rađa na istoku, a naveče na zapadu, zalazi, umire. Zbog toga je u hrišćanskoj religiji istok nada za život, a zapad tama i smrt.

Mi smo deca velikog praska, ali i zvezda. Pitam Vas, a i sebe: da li je to igra svemira koja traje milijardama godina iz koje se iznedrio čovek ? Da li se „rodio“ na planeti Zemlji ili ga je iz velikog praska, u svome repu, donela ledena kometa?

Naš dom, planeta Zemlja, jedino je mesto u svemiru gde postoji život kakav poznajemo. Vanzemaljci, stanovnici velikog praska, a i van njega, ako postojite, javite se. Adresa na koju nam možete pisati, a i slati poklone je galaksija Mlečni put, na njegovoj periferiji – Sunčev sistem, gde je naša kuća, planeta Zemlja. Dođite nam u goste, bar na čašicu rakije i, naravno, jagnjetinu ili prasetinu. Ima svega, spravljeno od svih elemenata koji postoje u svemiru. Da se družimo, pa se vratite. Ovde je demokratija, sumnjam da biste želeli da ostanete. Mesta ima, naravno, ako treba i po dvoje u krevetu, pa šta bude.

Pitanja o „nastanku sveta“ nas uvek fasciniraju, ali su i velika zagonetka. Kako i kada su nastali materija i prostor i počelo da otkucava vreme? Šta je bilo pre velikog praska? To su naučna, ali i filozofska i teološka pitanja. Odgovora za sada nema jer se postojeće teorije, bolje reći saznanja, odnose na događaje posle velikog praska, ali ne pre njega. To Vam je kao da tražite vreme pre vremena ili prostor izvan prostora. Sve informacije koje su postojale (ako su postojale) pre velikog praska nepovratno su izbrisane i nemaju značaja za buduće događaje. Da, u pravu ste. Moramo istrajati u traženju odgovora.

Svemir u kome živimo je jedini koji možemo proučavati, pa se poznati zakoni astronomije, fizike, hemije, matematike, geologije ne mogu proširiti na hipotetičko vreme pre velikog praska.



Slika 30. Alfa Kentauri (levo) i Beta Kentauri (desno) nama najbliže zvezde

Teorija Velikog praska, slažemo se sa Vama, ne daje potpun odgovor na pitanje o nastanku svemira, ali se u njoj nalaze sve relevantne naučne činjenice koje trenutno imamo i znamo. Kosmičko mikrotalasno ohlađeno zračenje, zaostalo iz vremena ranog svemira, Hablov zakon o širenju svemira, količina i odnos lakih elemenata, postojanje i položaj galaksija, zvezda i ostalih nebeskih tela idu u prilog teoriji velikog praska. Ova teorija, međutim, ne objašnjava zašto se dogodio veliki prasak, sastav i uslove koji su postojali u ranom svemiru, nedostatak antimaterije, ne predviđa koliko ima materije u svemiru i u kakvom je obliku. Ostaje i činjenica da su zvezde, galaksije, planete i druga svemirska tela koje posmatramo sa Zemlje ili satelita mali deo onoga što u svemiru postoji. Drugi, znatno veći deo, još uvek je nepoznanica. Kada se slože sva znanja, saznanja i neznanja o nastanku svemira, za sada nema ništa bolje. Završimo priču o velikom prasku sa velikim Vilijamom Šekspirom (slika 31), u čijoj drami o danskom kraljeviću Hamlet kaže:



Slika 31. Vilijam Šekspir
(1564–1616)

*„Ima više stvari na nebu i na Zemlji, Horacije,
nego što smo mi u našoj filozofiji sanjali.”*

Da li ćemo ikada „dosanjati” tajne svemira? Neprekidna osmatranja i istraživanja dala su nova saznanja za potpuniju viziju zvezda iznad nas. Veličina, nastanak i starost kosmosa nadmašuju sposobnosti običnog ljudskog razmišljanja koje je „izgubljeno” između bezmernosti i večnosti.

Posmatrano iz kosmičke perspektive, većina naših spoznaja izgleda „sitna”, nerazumljiva, ponekad i zanosna. Čovek je mlada vrsta na našoj planeti, radoznala i hrabra. Tokom „samo” par hiljada godina, došli smo do značajnih otkrića o kosmosu u kome se nalazimo. Stekli smo znanja koja nas čine smisaonim i srećnim. I u vremenu pred nama, svojim umom i strpljivim radom, steći ćemo nova saznanja, koja će dati odgovore na pomenute nedoumice, za sebe i generacije koje dolaze.