

Lagunin
VODIČ
ne može jednostavnije

KOSMOS

Kristofer de Pri

Prevela
Tatjana Bižić

■ Laguna ■

Za Ćaleta V.H. "Bada" Staklija (1920–2013), koji sada zna sve tajne kosmosa

Naslov originala:

Idiot`s Guides: The Cosmos
by Christopher De Pree

Copyright © 2014 by Penguin Group (USA) Inc.

Translation copyright © 2017 za srpsko izdanje, Laguna

Sadržaj

Prvi deo: Sunce, Zemlja i Mesec.....3



Struktura noćnog neba.....	4
Kretanje Sunca: merenje vremena	6
Kretanje Sunca: godišnja doba.....	8
Kretanje Meseca i mesečeve mene.....	10
Pomračenje Meseca i Sunca	12
Sunčeva unutrašnjost.....	14
Fuzija u unutrašnjosti Sunca.....	16
Sunčeve pege i površina Sunca.....	18
Gornja atmosfera Sunca i Sunčev vetar	20
Unutrašnjost Zemlje.....	22
Površina Zemlje: okeani	24
Površina Zemlje: tektonske ploče	26
Zemljino magnetno polje.....	28
Zemljina atmosfera	30
Nastanak i građa Meseca.....	34
Mesečeva površina	36
Putovanje na Mesec	38

Drugi deo: Ostale planete i meseci u Sunčevom sistemu41



Nastanak Sunčevog sistema.....	42
Raspored tela u Sunčevom sistemu	44
Kad bi Sunce bilo veličine lopte.....	46
Kretanje planeta	48
Merkur.....	52
Venera.....	54
Mars	60
Jupiter.....	68
Saturn	76
Uran	84
Neptun.....	86
Ostali meseci u Sunčevom sistemu.....	88
Patuljaste planete	90
Asteroidi.....	92
Komete	94
Sudari asteroida i komete.....	96

Treći deo: Rođenje, život i smrt zvezda 99



Zvezde i spektroskopija	100
Sjajnost i boja zvezda	102
Sažetak života zvezda.....	104
Rođenje zvezda: maglina Orion.....	106
Smrt zvezda: maglina Rak.....	108
Rođenje zvezda male mase	110
Evolucija zvezda male mase	114
Smrt zvezda male mase	116
Rođenje zvezda velike mase.....	118
Kako radio-teleskopi skidaju koprenu s nastajanja zvezda	120
Evolucija zvezda velike mase	122
Smrt zvezda velike mase	124
Supernova 1987A.....	126
Neutronske zvezde i ostaci supernova	128
Pulsari.....	130
Magnetari	132
Neutrini.....	134
Crne rupe zvezdane mase.....	136
Dvojne zvezde.....	138

Četvrti deo: Galaksija Mlečni put..... 141



Mlečni put na noćnom nebu	142
Struktura Mlečnog puta	144
Srce galaksije	146
Mlečni put na raznim talasnim dužinama	152
Kako se Mlečni put vidi infracrvenim teleskopima.....	154
Međuzvezdani medijum.....	156
Delić galaksije: molekularni oblaci	158
Delić galaksije: ostaci supernova	160
Delić galaksije: zatvorena zvezdana jata	162
Delić galaksije: spiralni kraci	164
Delić galaksije: regioni HII	166
Magnetna polja u Mlečnom putu	168
Veliki i Mali Magelanov oblak.....	170
Rotacija Mlečnog puta	172
Šta je tamna materija?	174
Rastojanja u Mlečnom putu	176
Potruga za životom u Mlečnom putu.....	178
Egzoplanete: otkrivanje.....	182
Egzoplanete: Kepler i svemirske opservatorije koje slede	184

Peti deo: Galaksije..... 187



Šesti deo: Postanak svemira i kraj koji ga očekuje..... 229



Andromeda na noćnom nebu.....	188	Drevni pogledi na postanak i sudbinu svemira.....	230
Lokalna grupa galaksija.....	190	Teorija stacionarnog svemira i Ajnštajn.....	232
Spiralne galaksije.....	192	Prostorvreme.....	234
Eliptične galaksije.....	194	Širenje svemira.....	236
Nepravilne galaksije.....	196	Hablova konstanta i starost svemira.....	238
Koliko su galaksije udaljene od nas?.....	198	Kosmičko pozadinsko zračenje: svetleći trag Velikog praska.....	240
Galaktička jata.....	200	Kartografisanje kosmičkog pozadinskog zračenja.....	242
Hablov zakon.....	202	Vremenska skala najranijih razdoblja svemira.....	244
Sudari galaksija.....	204	Elementarne čestice.....	246
Gravitacijska sočiva.....	206	Osnovne sile.....	248
Tamna materija u galaksijama.....	208	Prvi trenuci svemira i epoha naglog širenja.....	250
Razvoj galaksija: kako se galaksije menjaju.....	210	Nastanak materije i antimaterije.....	252
Šta su kvazari?.....	212	Primordijalna nukleosinteza.....	254
Radio-galaksije.....	214	Rekombinacija.....	256
Aktivne galaksije i aktivna galaktička jezgra.....	216	Materija i energija.....	258
Supermasivne crne rupe u drugim galaksijama.....	218	Prve zvezde i mračno doba.....	260
Okolina crnih rupa.....	220	Prve galaksije i strukture višeg stepena.....	262
Hablove slike dubokog polja.....	222	Geometrija svemira.....	264
Galaktička superjata.....	224	Kritična gustina svemira.....	266
Mrežne strukture višeg stepena.....	226	Svemir u bekstvu.....	268
		Antropički princip.....	270
		Nerešena pitanja u kosmosu.....	272
		Izvori fotografija.....	274

Uvod

Kretanje Sunca, Meseca i planeta vidljivih bez teleskopa (Merkura, Venere, Marsa, Jupitera i Saturna) ljudi posmatraju i beleže hiljadama godina. Pravilno, predvidljivo kretanje ovih relativno bliskih nebeskih tela postavilo je izazov ljudskoj sposobnosti oblikovanja modela fizičkog sveta. Nova zapažanja često vode formiranju novih modela, a s napretkom tehnologije i tehničkih mogućnosti posmatranja, modeli koji u određenom trenutku važe bivaju preispitivani, prilagođavani i po potrebi odbacivani. Upravo u tome leži snaga naučnog metoda. Posmatranje fizičkog sveta stalno se usavršava, te otud sve ono što danas čitate može uskoro da se promeni. Pa ipak – u tome je snaga naučnog metoda. Naš je zadatak kao naučnika i kao znatiželjnih ljudskih bića da nastavimo da učimo i usavršavamo naše razumevanje kosmosa.

Držeći se te ideje, ova knjiga počinje od onoga što nam je najbliže, pa se u koncentričnim krugovima kreće sve dalje od Zemlje – ne zato što je naša planeta centar svemira, nego zato što su se ljudska saznanja o svemiru s vremenom kretala tim putem, od Zemlje kao epicentra.

U prvom delu, naslovljenom **Sunce, Zemlja i Mesec**, govorim o nebeskim telima koja su nam najprisnije poznata: našoj planeti, Suncu i Mesecu. U ovom delu govori se o tome kako kretanje ovih tela utiče na naše merenje vremena i pružaju se informacije o njihovoj površini i njihovoj unutrašnjosti.

U drugom delu, pod naslovom **Ostale planete i meseci u Sunčevom sistemu**, provešću vas kroz ostale planete našeg sistema, koje su uglavnom čudni svetovi, nimalo nalik Zemlji i relativno pusti, što nam daje utoliko više razloga da budemo zahvalni za životno utočište koje pruža Zemlja.

Iza Sunčevog sistema nalaze se druge zvezde. U trećem delu, koji se zove **Rođenje, život i smrt zvezda**, pomoći ću vam da se otisnete u istraživanje o životu i smrti zvezda. Širom svemira rasejane su zvezde veće i manje od našeg Sunca, ali usavršavanje teleskopa i tehnologije snimanja omogućilo je astronomima da razumeju ceo životni vek zvezda. Od ledenog nastanka do ognjenog kraja.

U četvrtom delu, nazvanom **Galaksija Mlečni put**, govorim o matičnoj galaksiji Sunčevog sistema, koja je samo jedna od bezbroj galaksija u svemiru. To što se sami nalazimo u Mlečnom putu istovremeno nam pruža i prednost i postavlja izazove u razumevanju njenog oblika i sastava.

U **Galaksijama**, petom delu, razmatraju se galaksije uopšte i raznovrsno bogatstvo galaksija koje su ljudi u stanju da zapaze i u blizini, kao na primer galaksije u Lokalnoj grupi galaksija, i na ogromnim udaljenostima od nas. Kako su teleskopi postali veći i osjetljiviji, astronomi su dobili mogućnost da posmatraju vrlo udaljene, jedva vidljive galaksije i uklope ih u sliku evolucije galaksija.

U posljednjem, šestom delu knjige, naslovljenom **Postanak svemira i kraj koji ga očekuje**, stižete do najudaljenijih izvora koje je moguće posmatrati. Pošto svetlost putuje jednom konačnom brzinom, najudaljeniji izvori koje posmatrači mogu da uoče ujedno su i najmlađi, i omogućavaju nam da zavirimo u rani svemir. Govorim takođe o potencijalnom kraju svemira i dosad nerazrešenim pitanjima o njemu.

Pridružite mi se na ovom putovanju kroz ogromnost i lepotu kosmosa, koje počinje od bliskih, poznatih nebeskih tela u Sunčevom sistemu, a završava se nekim naznakama o postanku svega.

Zahvalnost

Šansa da napišem jednu ovakvu knjigu pružila mi se zahvaljujući mnogim dobrim ljudima u mom životu i voleo bih da im se ovde zahvalim. Hvala najpre Alanu Akselrodu, s kojim sam napisao *Sveobuhvatni priručnik o astronomiji*, zato što se rešio da iskuša sreću i uputio mi poziv posle otvorenog predavanja u Bredlijevoj opservatoriji pre petnaest godina. Ti si me uveo u svet pisanja o nauci za širu publiku i za to ću ti zauvek biti zahvalan. Džonu Kolini, koji me je zainteresovao za astronomiju i astrofiziku na završnim godinama studija na Univerzitetu Djuk. Svim mojim mentorima na postdiplomskim studijama, posebno Vejnu Kristijansenu s Univerziteta Severne Karoline u Čapel Hilu i Mileru Gosu iz Nacionalne radioastronomske opservatorije – hvala vam što ste mi pokazali koliko dobar fazon radioastronomija može da bude. Mojoj divnoj deci Dilanu, Kler, Matildi i Madi, zato što su godinama slušali moje priče o astronomiji i postavljali odlična pitanja. I konačno Tatici, V. H. Badu Stukiju, kome je ova knjiga posvećena. Bad je bio marinac u Drugom svetskom ratu i astronom zanesenjak. U svojoj ulici u Mejkonu u Džordžiji sam je napravio teleskop da komšijska deca gledaju kroz njega. Voleo je astronomiju i uvek je jedva čekao da popriča o najsvežijim vestima na tom polju. Njegova dobrota, skromnost i žar za učenjem pružali su nadahnuće svima koji su ga poznavali.

Posebna zahvalnost tehničkom redaktoru

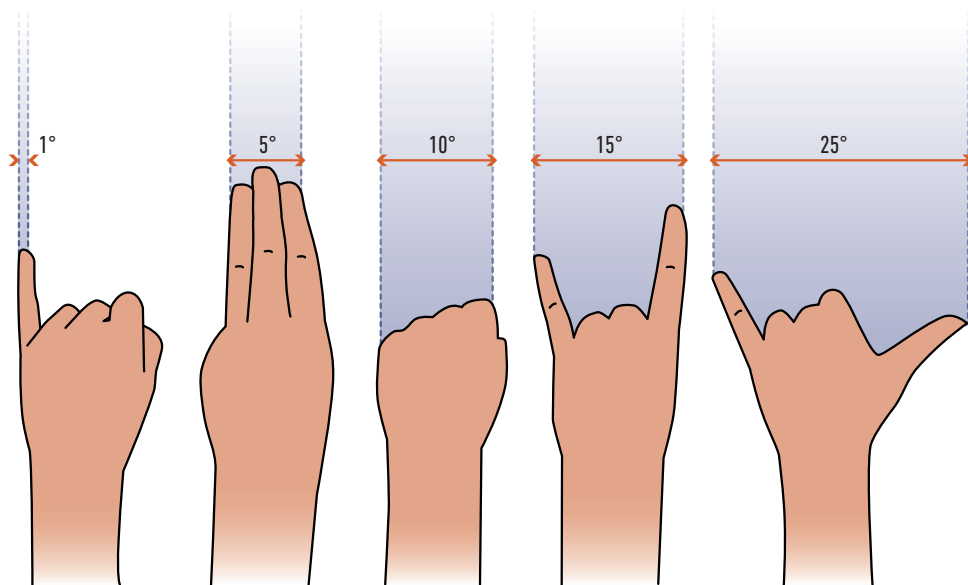
Ovaj priručnik o kosmosu pregledao je stručnjak koji je još jednom proverio tačnost svih podataka koje ćete ovde saznati i pomogao nam u našem trudu da vam pružimo sve što je potrebno da znate o kosmosu. Posebna zahvalnost obuhvata i Alison Smit.

Alison Smit je magistrirala fiziku na Univerzitetu Džordžije i iskusan je predavač na početnim kursovima iz astronomije. Istraživanja u sklopu njenih trenutnih doktorskih studija iz fizike i astronomije obuhvataju radioteleskopska proučavanja molekuskog gasa u međuzvezdanom prostoru.

Kako posmatrati kosmos

Posmatranje nekog nebeskog tela koje nikad pre niste videli svojim očima – od Mesečeve površine pa do Saturnovih prstenova – može da bude iskustvo koje će vas oduševiti.

Verovali ili ne, s noćnim nebom možete za početak da se upoznate služeći se samo svojim očima i rukama. Astronomska posmatranja sprovedena su, zapravo, hiljadama godina pre nego što je teleskop izumljen 1609, pre nešto malo više od četiristo godina. Teleskop je omogućio ljudima da prodube istraživanja i uoče više detalja. Svejedno, bez obzira na oruđa kojima se služite, ako posmatrate kosmos, vi ste astronom.



Služeći se samo ispruženom rukom, možete da izmerite uglove od jednog, pet, deset, petnaest i dvadeset pet stepeni.

Merenje veličine i ugaonog rastojanja pomoću ruke

Ugaono rastojanje je udaljenost dva tela na nebu izražena u stepenima, dok je ugaona veličina tela na nebu izražena u stepenima. Čitavo nebo, od horizonta do horizonta, ima sto osamdeset stepeni. Od horizonta pa do tačke neposredno iznad naše glave ugaono rastojanje je devedeset stepeni.

Ispružena ruka daje vam nekoliko izvrsnih prirodnih načina da izmerite ugaona rastojanja i ugaone veličine na nebu. Da biste izmerili manje ugaone veličine, držite ruku pravo ispred sebe. Širina vašeg malog prsta otprilike je jedan stepen; Mesec i Sunce imaju ugaonu veličinu od otprilike pola stepena. Hiljadugodišnja astronomska posmatranja u osnovi su se služila ovim najjednostavnijim mernim oruđem, više ili manje standardizovanim i preciziranim.

Posmatranje teleskopom

Šta, međutim, ako vam je potrebno da izmerite veličinu ili rastojanje manje od jednog stepena (koji se deli na šezdeset lučnih minuta i tri hiljade šest stotina lučnih sekundi)? Manje ugaone veličine po pravilu postaju značajne tek kada počnete da posmatrate nebo teleskopom. Na primer, ljudsko oko vidi, u najboljem slučaju, tela međusobno udaljena oko četiri lučna minuta, dok je rezolucija Svemirskog teleskopa *Habl*, s njegovim ogledalom prečnika 2,4 m, pet stotinki lučne sekunde.

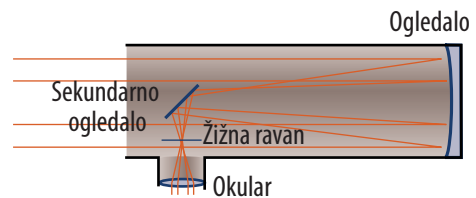
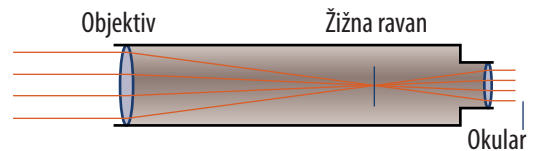
Optički teleskopi u ogromnoj meri pojačavaju sposobnost ljudskog oka za primanje svetlosti i povećavaju mu rezoluciju. Prvi teleskopi, koje je 1609. godine usavršio italijanski astronom Galileo Galilej, približili su ljudima dotad neviđena carstva.

Teleskopi obavljaju tri važna posla: prikupljaju svetlost, izdvajaju detalje i uvećavaju sliku. Ljudi uglavnom misle da je uvećavanje slike najvažniji posao teleskopa, ali su prikupljanje svetlosti i bolja rezolucija detalja u stvari znatno važniji za širenje ljudskih saznanja o svemiru.

Osnovna građa teleskopa uvek je ista, bez obzira na to da li je posredi optički teleskop, radio-teleskop ili teleskop koji prikuplja infracrvene zrake. U sva tri slučaja reč je o elektromagnetnim zračenjima raznih talasnih dužina, a da bi se obrazovala slika, na bilo kojoj talasnoj dužini, neophodno je zračenje dovesti u žižu. Da bi fokusirali svetlost, optički teleskopi služe se zakrivljenim, premazanim staklenim površinama, to jest ogledalima, dok radio-teleskopi u tu svrhu koriste zakrivljene metalne površine – tanjire.



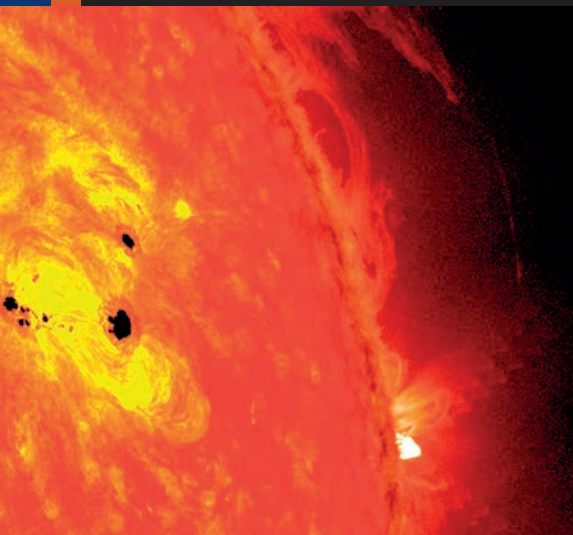
Vrlo veliki teleskop, koji je Evropska južna opservatorija postavila na planini Paranal u pustinji Atakama u Čileu, vidi i van granica Mlečnog puta.



Optički teleskopi fokusiraju svetlost ili refrakcijom, to jest prelamanjem (gore) ili reflektovanjem, to jest odražavanjem (dole). Prvi teleskopi bili su refraktori i imali su staklena sočiva. Teleskopi koji se danas koriste u istraživanjima (kao što je Svemirski teleskop *Habl*) uglavnom su reflektori.



Gornja atmosfera Sunca i Sunčev vetar



H-alfa slika Sunčeve hromosfere.

Emisione linije

Atomi se mogu detektovati po fotonima svetlosti koje emituju. Jedna vrsta zračenja koje emituju atomi naziva se emisionim linijama. Emisione linije nastaju kao posledica izmena nivoa energije u elektronima koji ostaju vezani uz atomsko jezgro. Kad elektron prelazi iz visokog u niski nivo energije, oslobođena energija emituje se kao svetlosni foton na određenoj talasnoj dužini. Na primer, atom vodonika povezuje se s emisionom linijom na 656,3 nm. Ova linija je crvene boje i lako se nalazi u gasovima na temperaturi od više hiljada kelvina. Sunčeva hromosfera vrelija je od fotosfere i često se posmatra kroz vodonik-alfa (Ha) filtere.

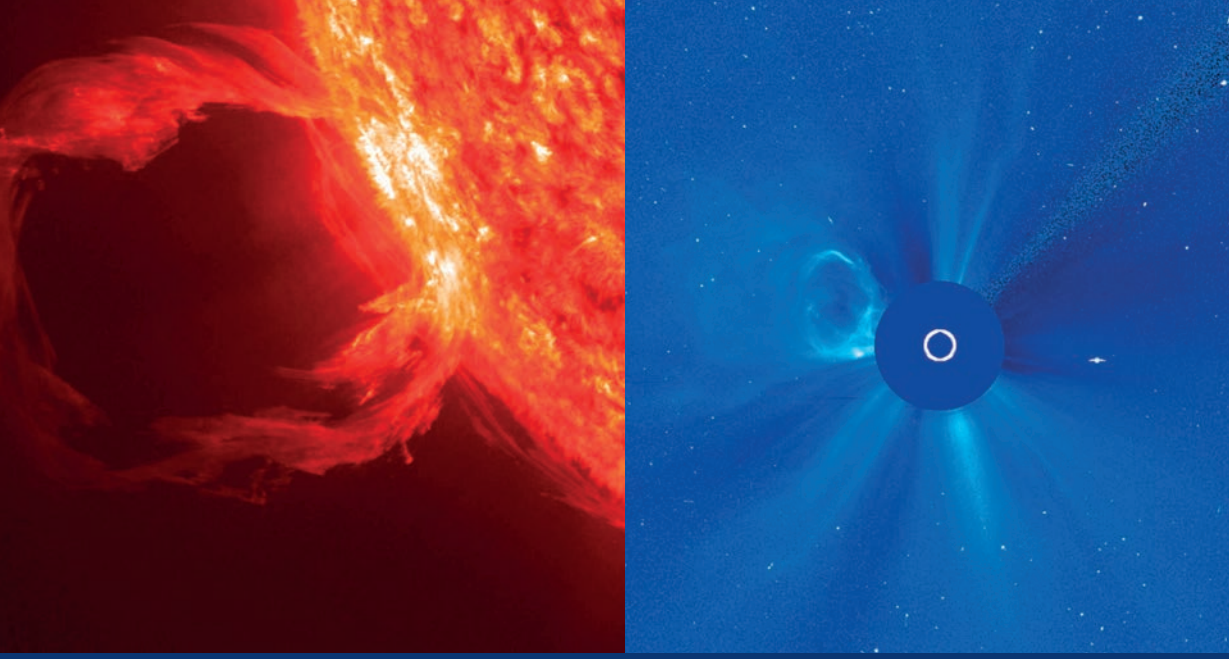
Sunčeva gornja atmosfera je vrlo dinamična, uglavnom usled delovanja snažnih magnetnih polja.

Hromosfera

Tanki sloj Sunčeve atmosfere iznad fotosfere naziva se *hromosfera*. Za razliku od fotosfere, koja se uglavnom vidi preko linija apsorpcije, hromosfera se najčešće posmatra u emisionim linijama, vidljivim u oblastima s vrelim gasom manje gustine. Obično je reč o emisionim linijama vodonika, na talasnoj dužini od 656,3 nm (nanometra). Hromosfera je manje gusta i manje vrela od fotosfere ispod sebe i ona je područje *spikula*, malih erupcija vrelog gasa, koji u mlazevima izleće u gornje slojeve atmosfere. Na površini Sunca u svakom trenutku eruptira na stotine hiljada spikula, a uvis ih izbacuju površinska magnetna polja.

Korona

Najviši sloj Sunčeve atmosfere naziva se *korona* (lat. *corona* – kruna ili venac). Uprkos tome što je veoma vrela, korona je slabo vidljiva zbog male gustine – atomi i molekuli u njoj vrlo su vreli, samo ih nema mnogo. Zbog toga je koronu teško posmatrati osim ako se ne zakloni blistava fotosfera, što se dešava prirodnim putem u vreme pomračenja Sunca, kada Mesec gotovo u potpunosti zakloni Sunčev sjajni disk. Za to vreme korona postaje vidljiva čak i golom ljudskom oku (pogledajte poglavlje „Pomračenje Meseca i Sunca“). Kao i hromosfera, i korona odašilje vidljive emisione linije. Emisiona linija gvožđa ukazuje na to da je temperatura korone najmanje dva miliona kelvina.



Sunčeva baklja (levo) i koronalna eksplozija (desno).

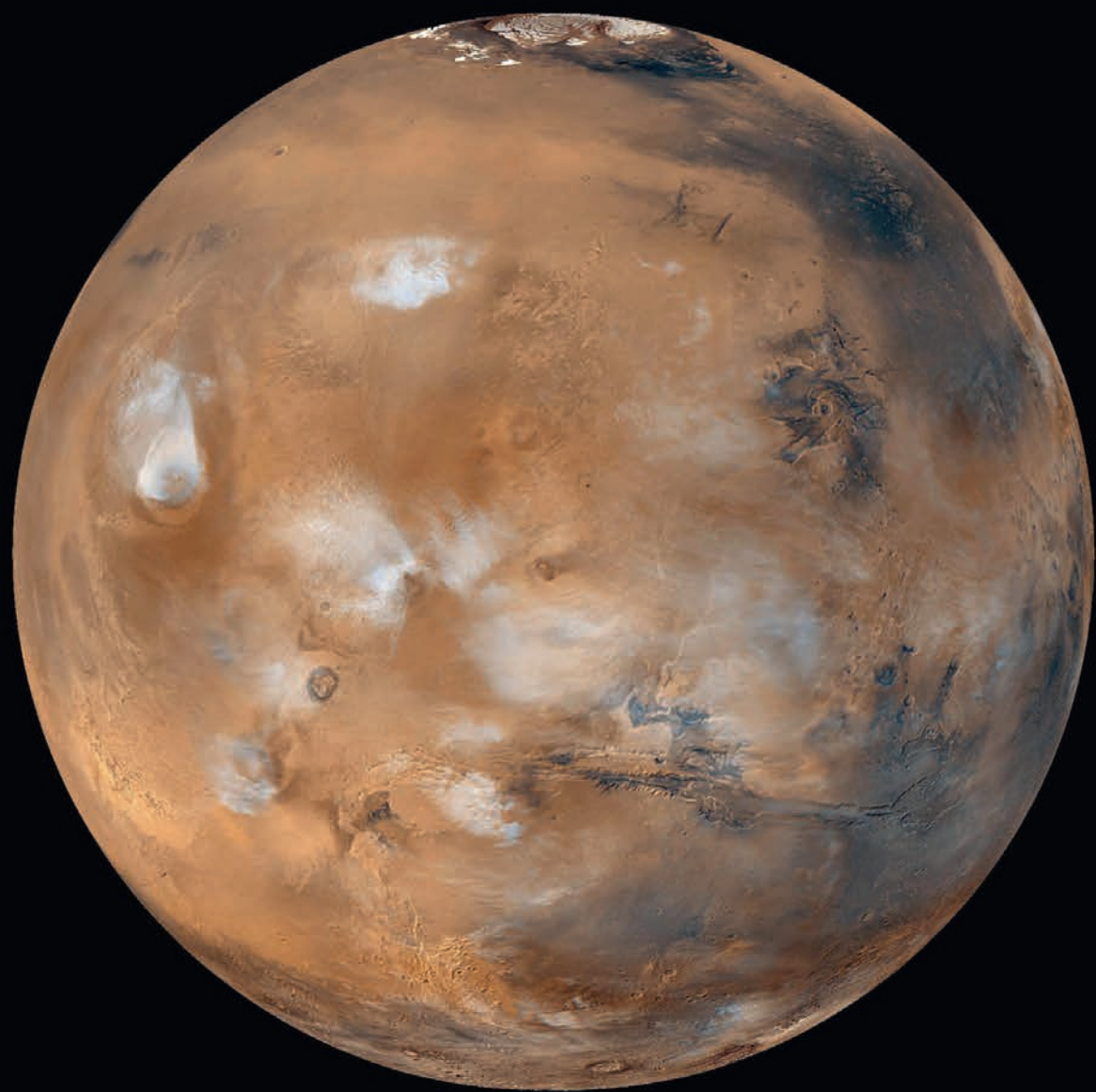
Sunčeve baklje i koronalne eksplozije

Sunčeve baklje su česta oslobađanja energije sa Sunčeve površine, povezana sa skupinama Sunčevih pega i magnetnim poljima zbog kojih one nastaju. Koronalne eksplozije (ili koronalni izbačaji mase) retki su događaji, prilikom kojih iz korone izbijaju velike količine plazme i elektromagnetnog zračenja.

Sunčev vetar

Materija se u Sunčevoj koroni kreće velikom brzinom, a neke čestice čak tolikom da mogu da umaknu Sunčevom gravitacionom polju. Takvi atomi i joni stvaraju *Sunčev (solarni) vetar*, struju plazme izbačenu iz gornje atmosfere Sunca. Sunčev vetar sačinjavaju uglavnom elektroni s visokim nivoom energije i atomska jezgra vodonika i helijuma. Procenjuje se da se sa solarnim vetrovima sa Sunca u svakoj sekundi odliva oko milijardu kilograma materijala. Činjenica da je i pored ovolikog gubitka iz sekunde u sekundu Sunce u svom deset milijardi godina dugom životnom veku izgubilo ukupno tek delić mase (možda jedva hiljaditi deo) svedočaštvo je divovske ogromnosti njegove mase u celini.

Kada ovi joni i elektroni s visokim nivoom energije stignu do Zemlje, Zemljino magnetno polje daje im ubrzanje koje ih izdiže u Zemljinu atmosferu. Kao posledica reakcija između ovih visokoenergetskih čestica i gornjih slojeva Zemljine atmosfere nastaje efekat poznat kao *severna i južna svetlost (aurora borealis i aurora australis)*.





Jupiter

Jupiter je peta planeta od Sunca i najveća planeta u Sunčevom sistemu, pored koje je Zemlja pravi patuljak: potrebno bi bilo više od hiljadu naših planeta da popune zapreminu Jupitera. Po veličini prečnika Jupiter je tačno na sredini između Zemlje i Sunca – prečnik mu je oko deset puta veći od Zemljinog, a deset puta manji od Sunčevog. Smatra se da Jupiter, kao i ostali gasoviti džinovci – Saturn, Uran i Neptun – ima čvrsto jezgro, koje je u Jupiterovom slučaju veliko kao čitava Zemlja. Jupiterova četiri velika meseca: Ija, Evropa, Ganimed i Kalista, mali su svetovi sami za sebe.

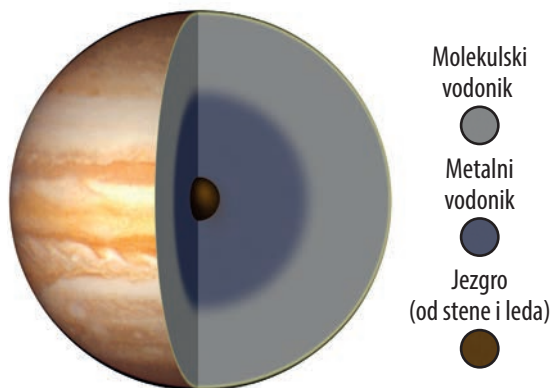
Jupiterova velika masa imala je znatnog uticaja na formiranje ostalih planeta, budući da je privukla mnogo materijala u protoplanetni disk. Uprkos tome što dominira među ostalim planetama sistema, ta ogromna masa ne iznosi ni 0,01 % Sunčeve. Kao i Sunce, Jupiter se sastoji uglavnom od vodonika i helijuma.

Opšta zapažanja

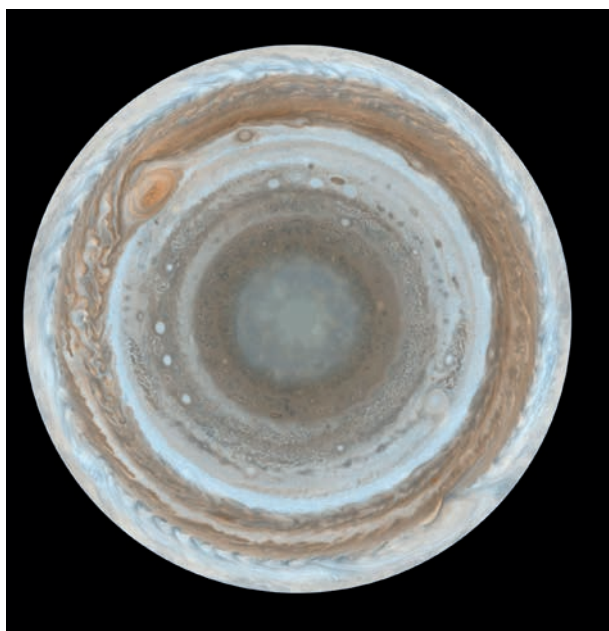
Gornji, vidljivi slojevi Jupitera upečatljivi su po rotirajućim svetlim i tamnim trakama koje nazivamo pojasevi i zone i koji pokazuju složena uzajamna delovanja. Komprimirani ubrzani snimci takođe pokazuju da je Jupiterova atmosfera veoma dinamična, posebno karakteristična po dugotrajnom fenomenu nazvanom Velika crvena pega – ogromnoj oluji koja traje već vekovima. Pažljivo posmatranje nekih sitnijih karakteristika atmosfere omogućilo je astronomima da izmere period obrtanja planete, koja se oko svoje ose okrene za manje od deset sati na ekvatoru, dok se polarna područja obrću nešto malo sporije – ovaj efekat poznat je kao *diferencijalna rotacija*.

Statistički podaci

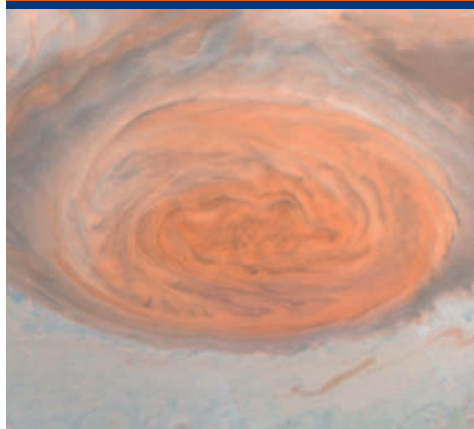
	SREDNJI POLUPREČNIK 69.911 km (10,9 Zemljinih)
	SIDERIČKI PERIOD 11,86 godina
	PERIOD ROTACIJE 9,93 sati
	ZAPREMINA $1,4 \times 10^{15} \text{ km}^3$ (1.321 Zemljine)
	SATELITI Šezdeset sedam poznatih satelita, od čega četiri velika meseca
	SREDNJA UDALJENOST OD ZEMLJE 5,2 AJ ($7,79 \times 10^8 \text{ km}$)
	MASA $1,9 \times 10^{27} \text{ kg}$ (≈ 318 Zemljinih masa)
	SASTAV ATMOSFERE (PO ZAPREMINI) 89,8% vodonika i 10,2 % helijuma, uz tragove metana, amonijaka i drugih molekula



Na ovom preseku vidi se unutrašnjost Jupitera, s jezgrom veličine Zemlje sastavljenim od stenja i leda, oko koga se nalazi omotač od metalnog i molekularnog vodonika, a zatim retka gornja atmosfera. Smatra se da temperature u Jupiterovom jezgru prelaze 20.000 K.



Ova neobična perspektiva, postignuta kombinovanjem snimka u bliskom infracrvenom delu spektra i plavom delu spektra da bi se simulirala fotografija u pravim bojama, prikazuje pogled s letelice *Kasini* na Jupiterov turbulentni južni pol. Na slici su jasno vidljivi složeni, dinamični obrasci naizmeničnih belih i crvenkastih pojaseva, kao i Velika crvena pega.



Ovaj superosetljivi spektroskopski snimak Velike crvene pege napravila je svemirska letelica *Galileo* iz orbite Jupitera 1996. godine, gotovo četiristo godina pošto je pega otkrivena 1664, što znači da je njeno postojanje potvrđeno najmanje od vremena kada je izumljen teleskop.

Velika crvena pega

Ova upečatljiva karakteristika Jupiterove atmosfere, koju posmatramo već odavno, zapravo je oluja koja rotira obrnuto od smera kazaljke na satu, s periodom od oko šest dana. Veličina joj je varirala s vremenom, a najveće zabeležene dimenzije ovala iznosile su 40.000 km x 14.000 km. Tri Zemlje mogle bi s lakoćom da se smeste jedna uz drugu u ovu divovsku oluju, koja energiju crpi iz nižih, toplijih slojeva atmosfere, a održava se zahvaljujući tome što na planeti ne postoji čvrsta površina.

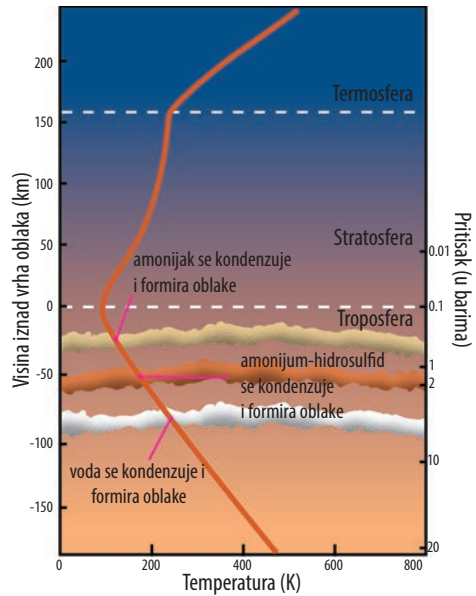
Atmosfera

Jupiter je sačinjen uglavnom od vodonika i helijuma, ali u njegovoj vidljivoj atmosferi preovlađuju oblaci amonijaka i amonijum-hidrosulfida, koji čine gornje slojeve same planete. Infracrveni snimci pokazuju da su zone svetlije boje relativno hladne (sačinjene od visinskih oblaka), dok su tamnije u stvari pogled u niže, toplije slojeve atmosfere.

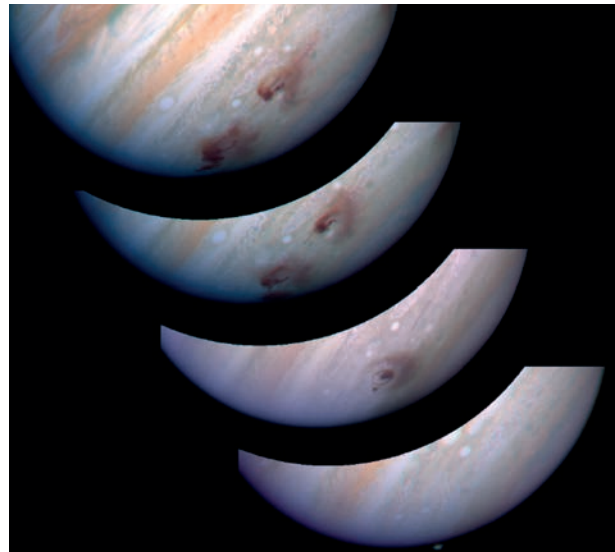
Sonda s *Galilea* koja se spustila u atmosferu Jupitera potvrdila je da gornji sloj oblaka od amonijaka leži preko sloja oblaka od amonijum-hidrosulfida i da kroz njih huje vetrovi brzinom od 650 km/h. Sonda nije detektovala najniži sloj oblaka, od vode (koji je identifikovan spektroskopski), možda zbog toga što je propala kroz neki prodor u vodenim oblacima.

Veruje se da su krhotine komete Šumejker-Levi 9, koja je udarila u Jupiter 1994. godine, izazvale visoke temperature usled kojih je nastao vodonik-cijanid u atmosferi i koje su na više meseci ogolile donje slojeve atmosfere.

Jupiterovo magnetno polje veoma je snažno, a smatra se da ga stvara obrtanje tečnog metalnog vodonika u unutrašnjosti. Magnetne silnice navode materijal iz unutrašnjosti na sudare s gornjim slojevima atmosfere, usled čega nastaje aurora. Slično aurori borealis i australis na Zemlji, aurora na Jupiteru stvara prstenove oko polova.



Slojevi Jupiterove atmosfere. Pod slojem oblaka temperatura opada, tako da je na stotinak kilometara ispod njihove gornje površine približno ravna tački mržnjenja vode (273 K).



Niz fotografija poredan je hronološki, pri čemu je donja prva i prikazuje trenutak sudara komete Šumejker-Levi 9 s Jupiterom i podizanje materijala s planete usled udarca. Smatra se da su upravo ovakvi sudari i uobličili atmosferu Jupitera.

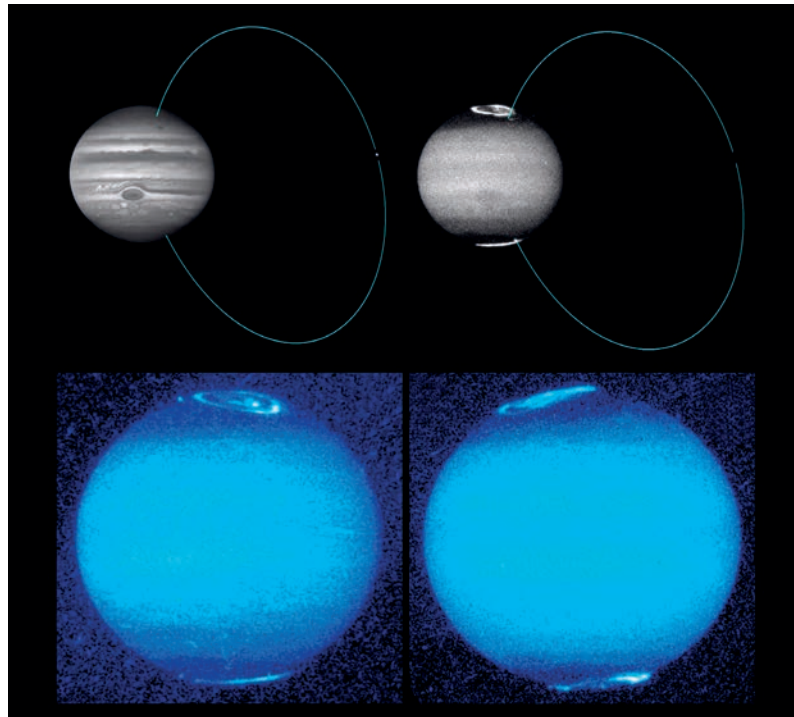


Ova fotografija u lažnim bojama, snimljena u bliskom infracrvenom spektru s *Galilea* dok se između 1993. i 1995. nalazio u orbiti oko Jupitera, prikazuje Veliku crvenu pegu. Tri infracrvena snimka preklapljeni su tako da se naglasi variranje dubine Jupiterove atmosfere. Bela i crvena polja su najviša, plava i crna najdublja. Velika crvena pega je roze, što znači da je relativno visoka. Plavo polje oko nje dublje je za tridesetak kilometara. Pri ivicama fotografije vidljive su manje oluje.

Fotografije u lažnim bojama


Astronomi često snimaju nebeska tela kroz svetlosne filtere s talasnim dužinama različitim od normalne, vidljive svetlosti. Infracrveni filteri, na primer, pružaju astronomima pogled dublje u Jupiterovu atmosferu, dok radio-frekvencije mogu poslužiti da se prikaže Jupiterovo moćno magnetno polje. Kada prikazuju snimke napravljene na ovim nevidljivim talasnim dužinama, astronomi biraju paletu koja će u najvećoj meri olakšati tumačenje slike. Pošto svetlost van vidljivog dela spektra inače nema boju, ovako obrađene fotografije nazivaju se *fotografijama u lažnim bojama*.

Na ovim slikama prikazane su Jupiterove aurore i krajnja tačka elektromagnetnog polja koje povezuje Jupiter s njegovim najbližim mesecom Ijom (prikazanog plavim linijama). Silnice Jupiterovog magnetnog polja privlače naelektrisane čestice koje izbacuju vulkani na Iji, stvarajući pege na obodima prstenova aurore. Dve slike dole prikazuju Jupiterove aurore pri obrtanju planete, u ultraljubičastoj svetlosti.





Rođenje zvezda: maglina Orion



Na ovoj mozaičkoj slici optičkih emisija s magline Orion nalazi se približno tri hiljade zvezda, većinom male mase, kao Sunce. Oblaci gasa svetle jer ih obasjava malo jato zvezda velike mase nazvano Trapez (levo iznad sredine slike).

Mada nam zvezde stajačice izgledaju nepromenljive i večne, one imaju trenutak nastanka i neke od njih su mlađe, a neke starije. Sunce je, na primer, nastalo pre četiri i po milijarde godina, a ako je nastalo na isti način kao mnoge druge zvezde male mase, onda je verovatno rođeno u nekoj maglini kao što je Orion (koja se takođe naziva Mesje 42, M42 i NGC 1976).

Maglina Orion otkrivena je u dobro znanom sazvežđu Orion, jednom od najupadljivijih na nebu iznad severne polulopte zimi. Astronomima je važna zato što je ova maglina Zemlji najbliži deo svemira u kome se rađaju zvezde velike mase, a to znači da se u dubinu oblaka prašine i gasa može zaviriti i optičkim teleskopima otkad su zvezde razvejale onu njegovu stranu bližu nama i otkrile nam unutrašnje područje, pružajući nam pogled na rađanje zvezda.

Zvezde nastaju tako što gravitacija privlači ogromne oblake gasa i prašine. Nastajanje zvezda posmatrano u Mlečnom putu i drugim galaksijama uvek je povezano s *molekulskim oblacima*, divovskim rezervoarima goriva, uglavnom vodonika. Kad je reč o maglini Orion, najveći njen vidljivi deo čini svetleći gas na vrhu molekularnog oblaka, obasjan ogromnim količinama zračenja koje isijavaju vrele mlade zvezde. Zračenje s mladih zvezda osvetljava oblake materijala koji ih još uvek obavijaju.

Nastanak zvezda velike mase, kao što su zvezde u Trapezu, prati rođenje hiljada manjih zvezda. Numeričke simulacije su pokazale da se pri kolapsu oblaka gasa rađaju uglavnom zvezde male mase i samo mali broj zvezda velike mase. Zvezde velike mase sagore za svega desetak miliona godina, dok zvezde male mase žive milijardama godina.



Ova slika divnih boja prikazuje podatke koje su prikupili svemirski teleskopi *Špicer* i *Habl*. Razne vrste zračenja prikazane su različitim bojama. Zelene i plave nijanse prikazuju emisione linije vodonika i sumpora, pobuđene strujama fotona sa zvezda iz jata Trapez u srcu magline. Narandžaste i crvene nijanse prikazuju infracrvene emisione linije – one potiču od prašine i gasa, koji se ne vide na ovoj slici.

Emisione linije

Mnoge popularne slike prikazuju rađanje zvezda onako kako ga vidimo preko emisioh linija. Emisione linije odašilju atomi i molekuli čiji se atomi nađu u pobuđenom stanju. Vodonik je najjednostavniji primer, budući da se sastoji od jednog elektrona i jednog protona. Elektron će težiti da se nalazi u osnovnom stanju, ali ako dospe u blizinu nekog snažnog izvora energije, kao što su zvezde u Trapezu, biće podignut na viši energetska nivo. Dok se vraća u svoje osnovno stanje, odašiljaće emisione linije na specifičnim talasnim dužinama. Svi elektroni mogu da budu pobuđeni, a emisione linije viđene u nekom području pokazuju koji se elementi u njemu nalaze i kolika im je temperatura.



Delić galaksije: spiralni kraci



Smatra se da je prečkasta spiralna galaksija UGC 12158 vrlo slične građe kao Mlečni put. Kod prečkastih spiralnih galaksija kraci polaze od blistave „prečke“ zvezda koje kruže oko središta galaksije, pa se savijaju spiralno upolje, ka ivicama vidljivog galaktičkog diska.

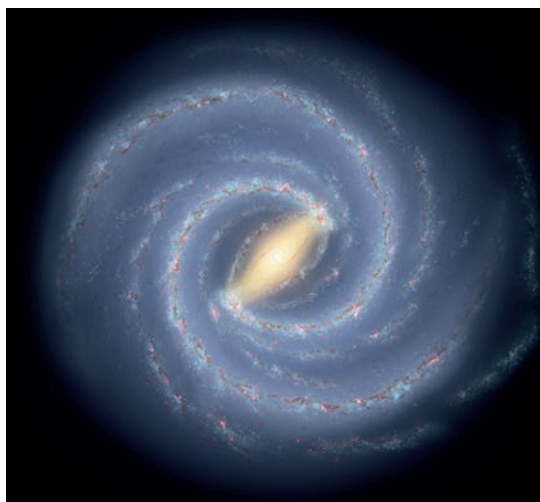
Kao posmatračima spolja, lako nam je da zapazimo spiralne krake drugih galaksija, ali je teško utvrditi građu Mlečnog puta, jer su posmatrači usred njega, otprilike tačno na polovini rastojanja između središta galaksije i oboda njenog diska.

Pretpostavke o strukturi naše galaksije menjale su se tokom godina u zavisnosti od posmatranja na kojima su zasnivane. Sredinom XX veka posmatranje oblaka neutralnog vodonika pružilo je ljudima prve dokaze da se Sunčev sistem nalazi u spiralnoj galaksiji. Položaj i brzina ovih oblaka uneseni su u prve karte galaktičkog diska Mlečnog puta, čime su ucrtani obrisi četiri spiralna kraka.

Posmatranja zvezda male mase Svemirskim teleskopom *Špicer* ukazivalo je, kako se činilo, na to da su zvezde raspoređene u samo dva umesto u četiri spiralna kraka. Najnovija proučavanja, prilikom kojih su korišćeni radio-teleskopi da bi se mapirao položaj i brzina oblasti nastajanja zvezda velike mase (koje se nalaze jedino u spiralnim kracima), potkrepljuju, međutim, prvobitni model s četiri kraka. Jedan od razloga za nepodudaranje ova dva modela mogao bi ležati u tome što su se

pri novijem radu s radio-frekvencijama astronomi služili posmatranjem zvezda velike mase, čiji je životni vek mnogo kraći od životnog veka zvezda male mase katalogizovanih prema podacima koje je prikupio Svemirski teleskop *Špicer*, te im je otuda na raspolaganju manje vremena da bi se širile kroz prostor.

Galaksije kao što je Mlečni put rotiraju, pa zato ni spiralni kraci ne mogu da budu statične strukture. Galaksije rotiraju raznim brzinama, u zavisnosti od svog prečnika. Materijal najbliži središtu galaksije rotira najbrže, dok onaj udaljeniji rotira sporije. Kao ishod toga, svaka gušća koncentracija zvezda u disku (kao na primer spiralni kraci) biće rotacijom brzo izglađena. Prema zasad važećem shvatanju, spiralni kraci su talasi gustine, ili sabijanja, koji se kreću oko galaktičkog diska.

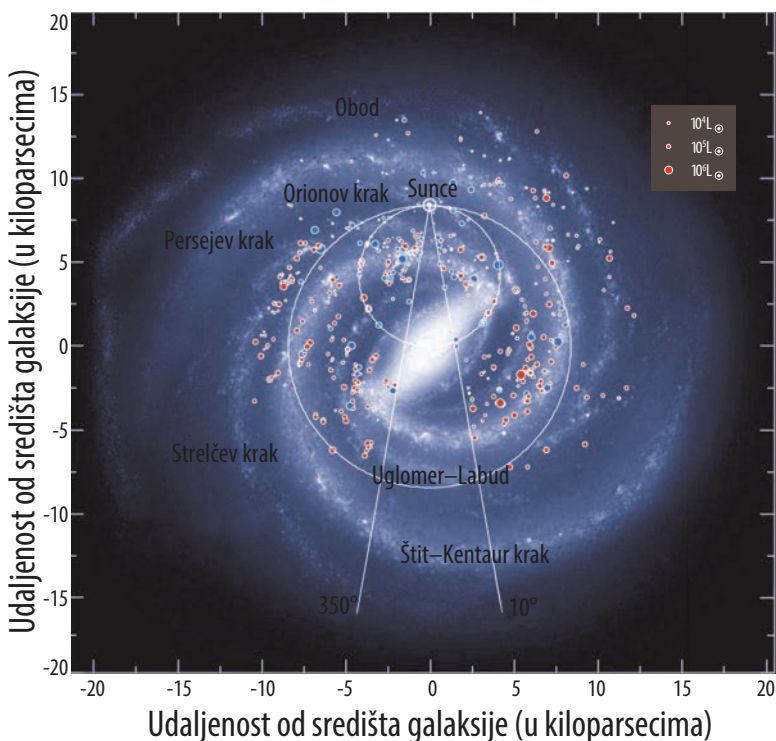


Na ovoj umetničkoj viziji Mlečnog puta galaksija izgleda kao da ima samo dva glavna spiralna kraka, koja polaze od krajeva središnje prečke.

Talasi gustine i nastajanje zvezda

Smatra se da zvezde nastaju usled širenja talasa gustine kroz disk Mlečnog puta. Materijal iz diska najpre sustigne spiralne talase gustine, koji se kreću sporo. Kad materijal zađe u oblast spiralnog kraka, sabija se, i to u nekim slučajevima sve do tačke u kojoj počinje da kolabira i preoblikuje molekulske oblake u porodice zvezda velike i male mase. Spiralni kraci mogu da izazovu i sudare oblaka, uzrokujući tako posrednim putem nastajanje zvezda. Prve nastaju zvezde velike mase, koje zatim isijavaju u krake jonizujuće zračenje.

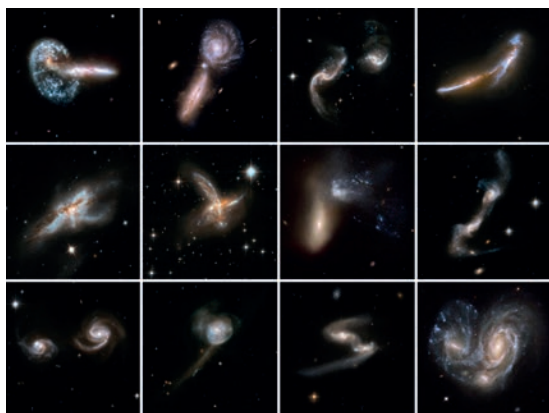
Obojene tačke pokazuju na ovoj slici položaj kompaktnih i ultrakompaktnih regiona HII u galaktičkom disku. Veća kružnica obeležava Sunčevu orbitu oko središta galaksije, koju Sunce preputuje za približno dvesta pedeset miliona godina. Posmatranja na radio-frekvencijama, kao ovo snimljeno ovde, upućuju na postojanje četiri spiralna kraka.





Sudari galaksija

Kao što ste već pročitali, Lokalna grupa galaksija je galaktičko jato, unutar koga galaksije raznih vrsta kruže jedna oko druge usled uzajamnih sila privlačenja. U takvim situacijama sudari su možda neizbežni. Postoje, na primer, dokazi da su se Veliki i Mali Magelanov oblak u prošlosti sudarali s Mlečnim putem, a Andromeda i Mlečni put su se, po svemu sudeći, ustremile ka vrlo bliskom susretu za četiri milijarde godina. U prošlosti svemira sudari galaksija su verovatno bili i češći.



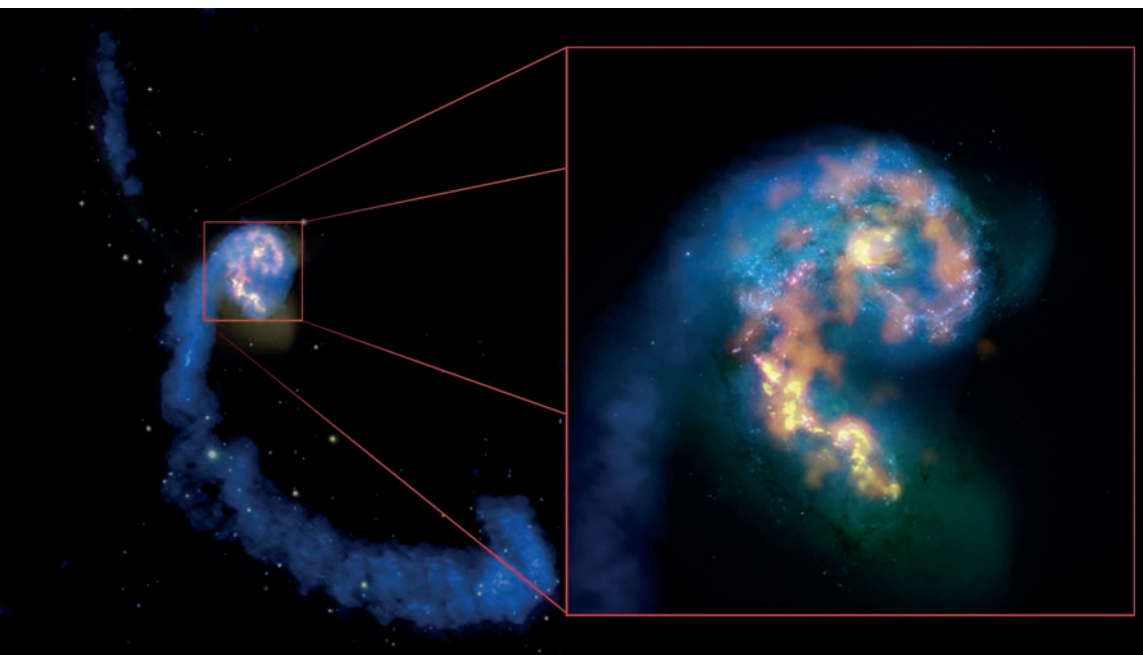
Ovi snimci koje su napravili Svemirski teleskop *Habl*, Svemirski teleskop *Špicer* i Rendgenska opservatorija *Čandra* pokazuju razne načine na koje galaksije mogu da se sudare. Dugi repovi koji se vide prilikom mnogih posledica su plimskih gravitacijskih sila.



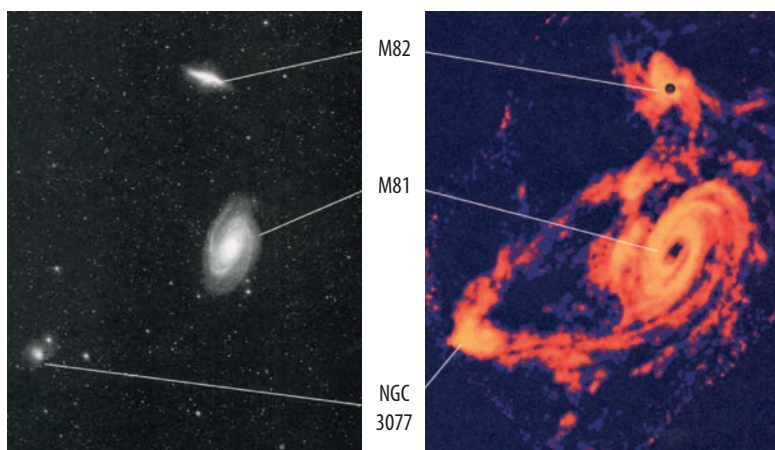
Sudar dveju galaksija u jatu ARP 274. Vrlo sjajne zvezde u prvom planu pripadaju Mlečnom putu. Spiralne galaksije su ogromne – prečnik im je po pravilu više stotina hiljada svetlosnih godina – tako da njihovi međusobni sudari traju stotinama miliona godina.

Zvezde su u galaksijama međusobno toliko udaljene da se pri sudaru galaksija one same gotovo nikada ne sudaraju, ali mnoge budu izbačene u intergalaktički prostor usled uzajamnog dejstva gravitacijskih sila. Prilikom posmatranja galaktičkih sudara često bivaju uočeni ogromni repovi od gasa i zvezda. Oblaci gasa u galaksijama dovoljno su veliki da se i oni sudare kad se sudare galaksije. Sudari oblaka gasa mogu da prouzrokuju gravitacijski kolaps i pokrenu veliki talas rađanja zvezda. Za vreme sudara galaksija, divovski oblaci gasa često se nalaze blizu uz talase nastajanja mladih zvezda.

Posledica ovakvih sudara složene su i fascinantne, a u gustom sredini galaktičkih jata sudari su sasvim normalan događaj.



Na ovom snimku sudarenih galaksija nazvanih Antene vidi se neutralni vodonik, prikazan plavo, izbačen u dva plimska repa koja se pružaju daleko iza emisija dveju galaksija u vidljivom delu spektra. Na uvećanom isečku desno preko vidljive emisije preklapljene su emisije na milimetarskim i submilimetarskim talasnim dužinama koje je snimio interferometar ALMA. Velike količine gasa u ovakvim repovima često nisu vidljive optički, ali se mlazevi, slični onima koji povezuju Mlečni put s Magelanovim oblacima, obično mogu videti na radio-snimcima galaksija koje se stapaju.



Ovaj pogled na deo neba širine jedan stepen u okolini spiralne galaksije M81 pokazuje koliko je kombinovanje snimaka na raznim frekvencijama važno za pravilno razumevanje galaktičkih sudara. Na slici levo su galaksije M81, M82 i NGC 3077 kako ih je optički snimila Opservatorija Palomar za kartografisanje svemira. Na slici desno je isto vidno polje snimljeno umreženim teleskopom *Karl Janski*, tako da je vidljiv neutralni vodonik.

Gravitacijska sočiva

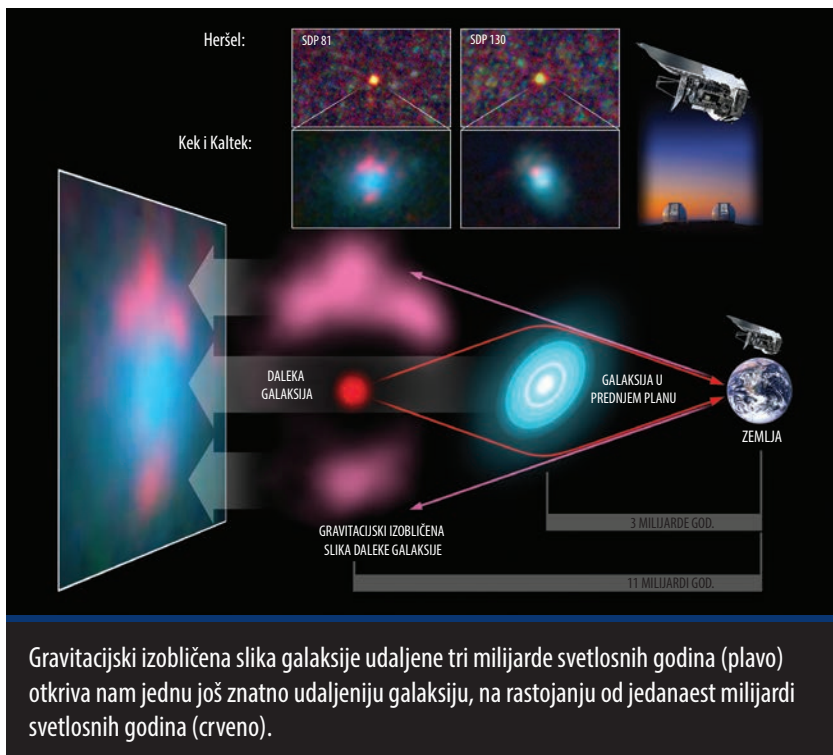


Na ovoj slici koju je snimio Svemirski teleskop *Habl* plava galaksija u daljini jako je izobličena delovanjem mase bliže galaksije u prednjem planu. Potrebno je vrlo precizno poravnanje položaja dveju galaksija da bi nastala ovakva njihova zajednička prstenasta slika.

Vidljiva materija čini svega delić od jedan posto ukupne mase galaktičkih jata. Glavninu od devedeset posto mase sadrži tamna materija, dok je oko devet posto vreli međugalaktički gas. Mada astronomi još ne znaju šta je zapravo tamna materija (pogledajte poglavlje „Šta je tamna materija?“), moguće je videti njeno gravitacijsko delovanje na kretanje galaksija u jatu.

Prema Ajnštajnovoj opštoj teoriji relativnosti, masa tako izobličuje prostor da se putanje fotona zakrivljuju. Usled toga će masa (bilo svetle ili tamne materije) izobličiti svetlost kao što je izobličuje stakleno sočivo. Ova pojava uočena je širom svemira i dobila je ime gravitacijska sočiva, a pruža jasan dokaz o postojanju tamne materije između Zemlje i dalekih galaksija.

Gravitacijska sočiva pružaju definitivnu potvrdu Ajnštajnovе opšte teorije relativnosti, ali su takođe vrlo upečatljiva i u nekim drugim pogledima. Isto kao i staklena sočiva, tamna materija unutar galaksije ili galaktičkog jata može ponekad da pokaže uvećanu sliku nekog izvora iza nje, koji inače ne bismo mogli da opazimo.



Veličina i tačna geometrija izobličenja omogućuju astronomima da izračunaju masu tamne materije u prednjem planu zbog koje se stvara gravitacijsko sočivo koje izobličuje sliku galaksije. Ovakvi proračuni potkrepljuju druge, nezavisne tokove proučavanja koji pokazuju da je glavina galaktičke mase sadržana u tamnoj materiji.

Gravitacijsko polje galaksije u prednjem planu može da omogući astronomima pogled na izvor u pozadini koji bi bez efekta gravitacijskog sočiva bio premalen ili suviše bled da se uoči.



Ponekad izvore svetlosti u pozadini ne izobličuje samo jedno telo u prednjem planu, nego masa čitavog galaktičkog jata. Crveni i plavi lukovi na ovom snimku nastali su višestrukim umnožavanjem slike izvora u pozadini usled delovanja tamne materije u galaktičkom jatu Abel 2218, udaljenom od nas tri milijarde svetlosnih godina.

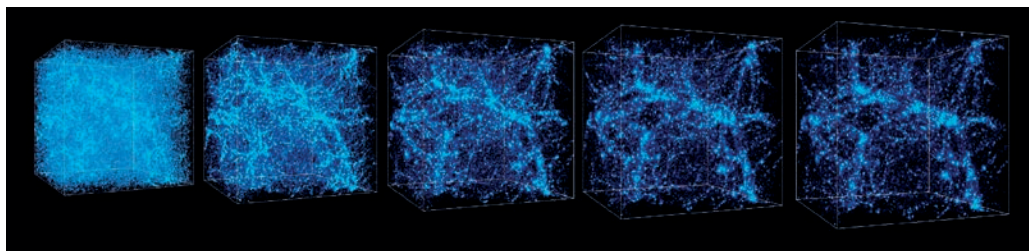
Prve galaksije i strukture višeg stepena

Kao što ste već videli, većinu materije u svemiru – kada se posmatraju tela reda veličine galaksija i galaktičkih jata – čini tamna materija, što znači da su u ranim epohama svemira sićušna odstupanja u gustini, vidljiva u pozadinskom zračenju, morala biti mnogostruko uvećana usled naglog širenja koje se dogodilo oko 10^{-35} s posle Velikog praska. Ove sitne varijacije u gustini omogućile su gravitaciji da počne da privlači sjajnu i tamnu materiju u strukture koje vidite danas.

Najstarije galaksije bile su patuljaste galaksije siromašne metalom, manje od onih koje su danas vidljive u blizini Mlečnog puta. Ove galaksije isijavale su uglavnom ultraljubičastu svetlost dok su rađale zvezde deset puta većom brzinom nego normalne galaksije danas; širenje svemira pomaklo je tu svetlost u infracrveni deo spektra.

Raspored galaksija i tamne materije

Kartografišući svemir, astronomi su otkrili da galaktička superjata nisu nasumice rasuta po svemiru, nego su raspoređena u plove i niti sjajne i tamne materije, razdvojene ogromnim prazninama (pogledajte poglavlje „Mrežaste strukture višeg stepena“). Rezultati ovakvih posmatranja poklapaju se s kompjuterskim simulacijama razvoja svemira ispunjenog uglavnom tamnom materijom, koja bi mogla biti sadržana prvenstveno u kompaktnim telima velike mase u halu i česticama s masom i slabim međudejstvom (pogledajte poglavlje „Šta je tamna materija?“).



Kompjuterske simulacije omogućavaju astronomima da postave modele ranog razvoja svemira iz jedne ravnomerne smeše sjajne i tamne materije i tamne energije. Prikazana kocka svemira ima stranicu od oko sto četrdeset miliona svetlosnih godina, a simulacija prati razvoj od crvenog pomaka $z = 3$ (sto miliona godina posle Velikog praska) pa do $z = 0$ (današnjost).



Gravitacijska sočiva uzrokovana tamnom materijom u ogromnom galaktičkom jatu MACS J1149+2223 pojačavaju sjajnost vrlo udaljenih izvora oko petnaest puta, tako da postaju vidljivi. Dva uvećana polja desno pokazuju jednu galaksiju u krupnijem planu. Njeno prvobitno ultraljubičasto zračenje pomaknuto je u infracrveni deo spektra.

Pogled na najstarije galaksije

Gravitacijska sočiva jedno su od sredstava pomoću kojih astronomi mogu da vide vrlo daleke galaksije, tako da možemo da ih zamislamo kao teleskope napravljene od tamne materije, zahvaljujući kojima postaju vidljive galaksije rođene kad je svemir bio star svega nekoliko stotina miliona godina (pogledajte poglavlje „Gravitacijska sočiva“).

Slike kao što su *Hablovo* duboko polje i *Hablovo* ultraduboko polje pružaju izvanredan pogled na najdalje i najstarije galaksije koje je moguće pronaći. U dubokom i ultradubokom *Hablovom* polju, gde vrvi od nama relativno bliskih zvezda, postoje takođe slabe crvene mrlje svetlosti koja dopire od vrlo dalekih galaksija.

U *Hablovom* ultradubokom polju otkriveno je više od petsto takvih dalekih galaksija iz vremena kada su galaksije tek počinjale da se rađaju. Posmatranja kao što su ova omogućuju astronomima da shvate kako se svemir iz ravnomernog, bezobličnog mora čestica pretvorio u svet zvezda i galaksija koje vidimo danas.