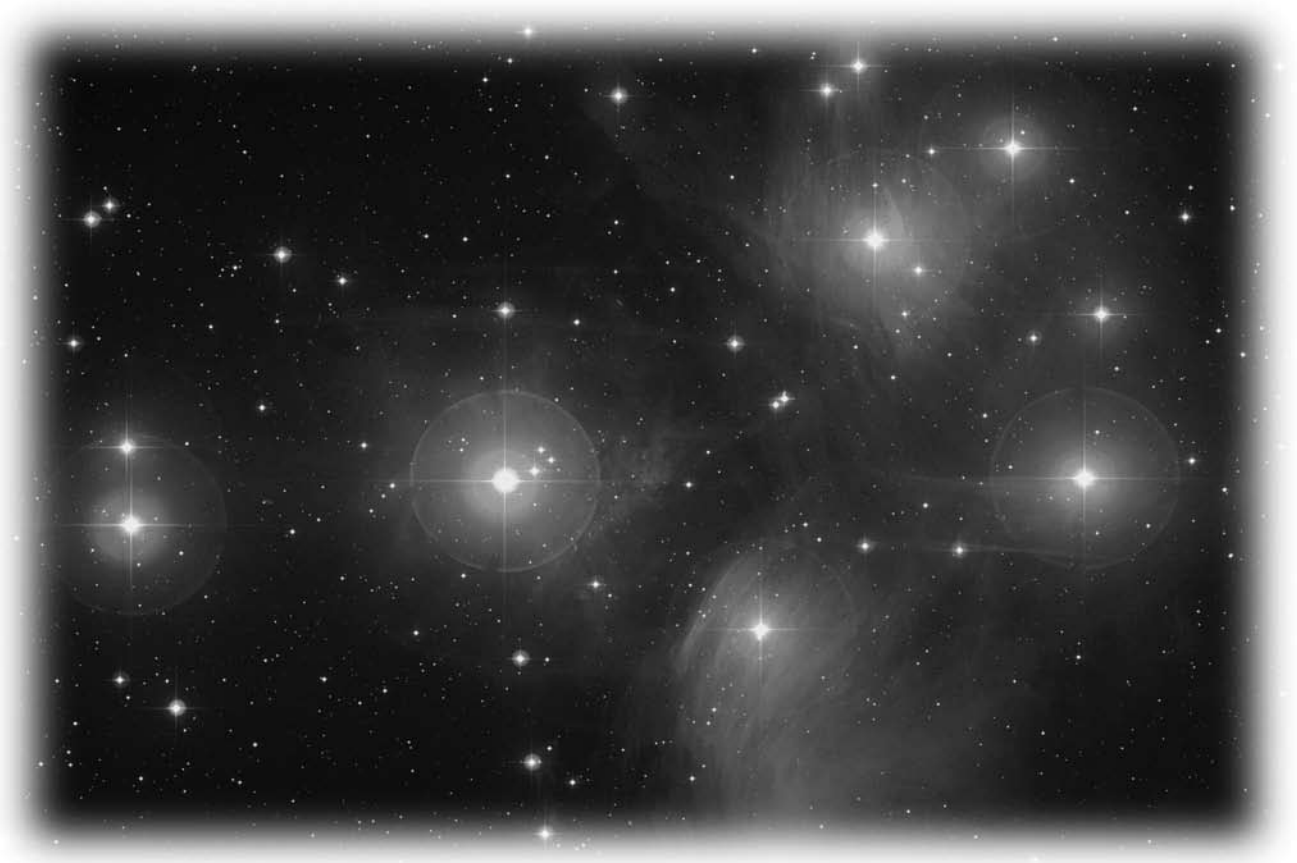


Marino Fonović

# SVEMIR

SUNČEV SUSTAV • ZVIJEZDE  
GALAKSIJE • ŽIVOT U SVEMIRU

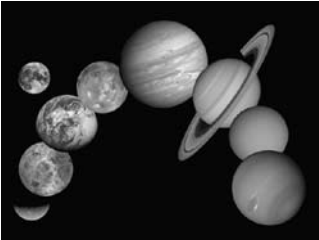


*Fonović - vlastita naklada*

# SADRŽAJ

## UVOD

Astronomija: od mita do moderne znanosti 7



## 1. SUNČEV SUSTAV 9

1. Kako je nastao Sunčev sustav? 10
2. Planeti najbliži Suncu: Merkur i Venera 20
3. Zemlja i Mjesec – dva svijeta vrlo različita 27
4. Mars: mjesto za život? 39
5. Jupiter – plinoviti div 48
6. Saturn – gospodar prstenova 55
7. Uran i Neptun 63
8. U predgrađu Sunčeva sustava 71
9. Bliski susreti s kometima 78
10. Asteroidi – djelići nedovršenog svijeta 85
11. Meteoriti, meteori i meteoroidi 94



## 2. PROMATRANJE SVEMIRA

12. Boje i spektri zvijezda 102
13. Svjetlost i onkraj 111
14. S druge strane svjetlosti 119
15. Svemirski orijentiri 130



## 3. ZVIJEZDE

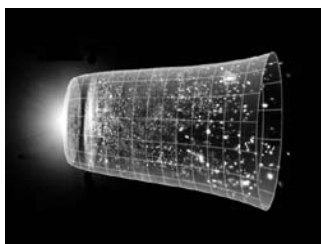
16. Sunce 138
17. Život zvijezda 148
18. Cefeide 152
19. Crveni divovi i superdivovi 158
20. Planetarne maglice 164

- 21. Bijeli patuljci 169
- 22. Katakliizmičke promjenljive zvijezde 175
- 23. Supernove 182
- 24. Pulsari – neutronske zvijezde 191
- 25. Crne rupe 197
- 26. Crveni patuljci – bljeskovite zvijezde 205
- 27. Smeđi patuljci – neuspjele zvijezde 209
- 28. Planeti drugih zvijezda 215



#### **4. GALAKSIJE**

- 29. Galaksija Mliječna staza 224
- 30. Galaksije u svemiru 236
- 31. Galaktička carstva 247



#### **5. POČETAK I KRAJ VREMENA**

- 32. Veliki prasak 256
- 33. Tamna strana svemira 267



#### **6. ŽIVOT U SVEMIRU**

- 34. Čudo zvano život: postoje li izvanzemaljci? 276

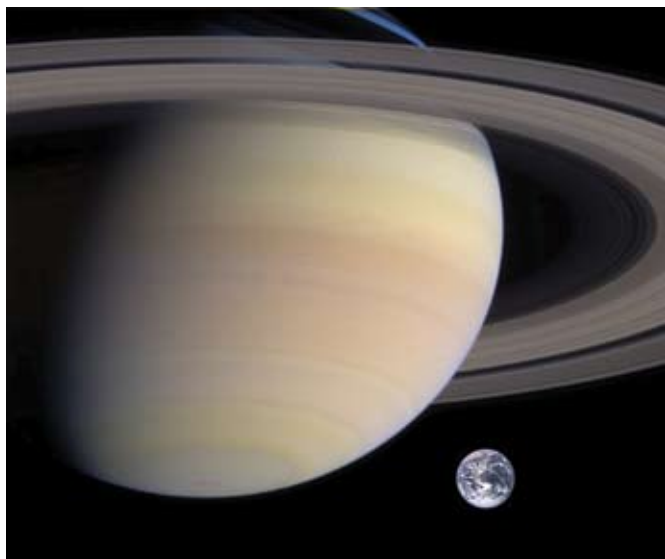
*Tablice* 287  
*Rječnik* 290  
*Kazalo imena* 295  
*Kazalo pojmova* 296  
*Zahvale* 302  
*Izvori ilustracija* 302  
*Internet linkovi* 304

# Saturn – gospodar prstenova

*Saturn, drugi planet po veličini u Sunčevu sustavu, okružen je čudesnim prstenovima. Poput Jupitera i on je velika kugla tekućine i plina sazdana mahom od vodika i helija. U gornjim slojevima Saturnove atmosfere vide se olujna područja, oblaci tvore svijetle pojaseve i tamne zone. Saturnovi prstenovi se sastoje od krhotina leda i kamenja različitih veličina. Divovski planet ima 60 poznatih mjeseca, najveći među njima je Titan – okružen gustom atmosferom ispunjenom ugljikovodikovim smogom.*

**S**aturn je skoro deset puta dalje od Sunca nego Zemlja, stoga on po jedinici površine prima sto puta manje Sunčeve svjetlosti i topline. Prije izuma teleskopa Saturn je bio najudaljeniji poznati planet i označavao je granicu Sunčeva sustava. Promatran golim okom na noćnom nebu izgleda poput sjajne žučkaste zvijezde, da biste vidjeli njegove veličanstvene prstenove potreban vam je teleskop ili malo jači dvogled.

Jedan Saturnov obilazak oko Sunca traje 29,5 zemaljskih godina. On se na ekvatoru okrene oko osi za 10 sati i 14 minuta, ali mu za to na polovima treba čak 11 sati. Ekvatorski promjer Saturna je 120 536 km i veći je od polarnog za 11 800 km. Premda Saturn u usporedbi s Jupiterom rotira nešto sporije i zbog svog manjeg promjera ima na ekvatoru manju centrifugalnu silu, Saturnov ekvator je ispupčeniji od Jupiterova. Glavni razlog većoj spljoštenosti je vrlo mala prosječna gustoća planeta koja iznosi svega 70 posto gustoće vode. To znači da kad bismo Saturn stavili u dovoljno velik ocean on bi plutao. Iako bi se u Saturn moglo smjestiti više od 700 planeta poput Zemlje (sl. 6.1.), on je teži od nje samo 95 puta.



Sl. 6.1. Usporedba Saturna i njegovih prstenova sa Zemljom.

## Kratko putovanje u prošlost

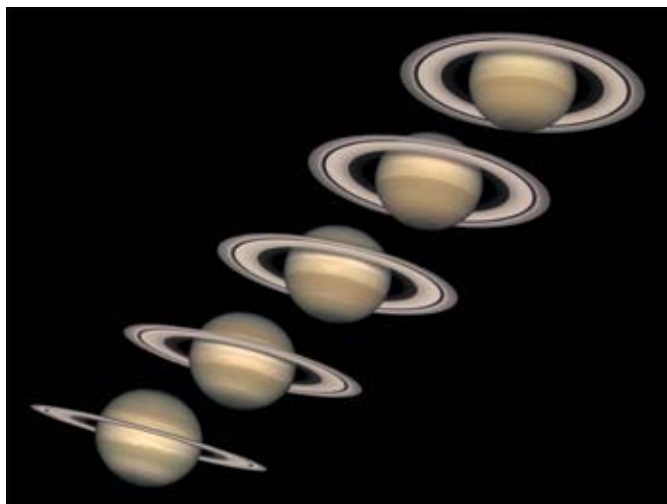
Atmosfera Saturna pokazuje oblacima slične strukture paralelne s ekvatorom, pri čemu je intenzitet atmosferskih promjena mnogo slabiji u usporedbi s onima na Jupiteru. Ipak se s vremena na vrijeme u blizini ekvatorijalne zone i umjerenih širina javljaju bijele i žute pjege. Saturnova atmosfera uglavnom se sastoji od vodika i helija, uz nešto ostalih spojeva.

Saturn je svima najpoznatiji po svom veličanstvenom prstenu. Prvi ga je kao prsten zamijetio nizozemski astronom Christiaan Huygens godine 1656. Kasnija teleskopska opažanja pokazala su kako se Saturnov prsten zapravo sastoji od više prstenova koje su astronomi imenovali velikim slovima abecede. Kroz teleskope se najbolje vide tri glavna prstena. Vanjski prsten A je relativno slaba sjaja, a od središnjeg prstena B razdvaja ga Cassinijeva pukotina koju je 1675. otkrio talijansko-francuski astronom Giovanni Cassini. Prsten B je najsjajniji prsten, ujedno i najširi od onih vidljivih sa Zemlje.

Skoro dvjesto godina nakon Cassinijeva otkrića, njemački astronom Johann Encke je godine 1837. na vanjskom rubu prstena A uočio mnogo slabije izraženu pukotinu koja je dobila njegovo ime. Bliže Saturnu je unutarnji prsten C, vrlo slaba sjaja i vidljiv samo kroz veće teleskope. Prsten C su 1850. godine neovisno jedan o drugom otkrili astronomi George Bond i William Dawes. Unutar prstena C opažen je još jedan, slabiji prsten D. On se kroz teleskope sa Zemlje može vrlo teško zamijetiti i izgleda da seže sve do vanjskih slojeva Saturnove atmosfere.

S obzirom da je Saturnova os nagnuta za 26,7 stupnjeva, izgled prstenova gledanih sa Zemlje polako se mijenja (sl. 6.2.). Najbolje se vide kada je jedan od polova najviše okrenut Zemlji što se događa dva puta tijekom njegovog obilaska oko Sunca.

Inače, prva teleskopska opažanja Saturna izvršio je Galileo 1610. godine; njegov primitivni teleskop nije mogao razlučiti prstenove, pa je pogrešno mislio da se radi o dvama manjim tijelima tik do Saturna. U ovom kratkom povijesnom pregledu spomenimo još da je Huygens 1655. godine otkrio najveći Saturnov mjesec koji je dobio ime Titan. Pored spomenute pukotine u prstenu, Cassini je



Sl. 6.2. Saturnova os je nagnuta prema orbitalnoj ravnini, stoga prilikom obilaska oko Sunca planet i njegove prstenove vidimo pod različitim kutovima. Mozaik slika je sastavljen od snimaka koje je načinio svemirski teleskop Hubble u razdoblju od 1996. do 2000.

otkrio i četiri veća Saturnova mjeseca: Japet (1671.), Reu (1672.), Tetis (1684.) i Dionu (1684.).

## Istraživanje Saturna

Sve do početka sedamdesetih godina kada su prema vanjskim predjelima Sunčeva sustava poletjele prve svemirske sonde, o Saturnu se znalo tek da je plinovit planet, da ga okružuju tri prstena sazdana od ledenih čestica i da ima deset mjeseci. Znalo se i to da je Titan, za razliku od svih ostalih satelita u Sunčevu sustavu, obavijen gustom atmosferom koja se sastoji uglavnom od dušika s nešto metana.

Godine 1979. pokraj Saturna prva je proletjela svemirska letjelica Pioneer 11, u naredne dvije godine pored planeta s prstenovima projurile su sonde Voyager 1 i Voyager 2. One su poslale na Zemlju obilje izvanrednih snimaka i podataka o Saturnu i njegovim mjesecima, na fotografijama koje su sonde Voyager snimile izbliza Saturnovi se prstenovi razlažu na tisuće prstenčića. Dana 1. srpnja 2004. u orbitu oko Saturna ušla je svemirska son-

da Cassini i počela svoju višegodišnju misiju istraživanja divovskog planeta, njegovih prstenova i satelita. Letjelica Cassini ponijela je sa sobom i drugu, manju sondu Europske svemirske agencije, zvanu Huygens koja se u siječnju 2005. spustila na Titanovu površinu.

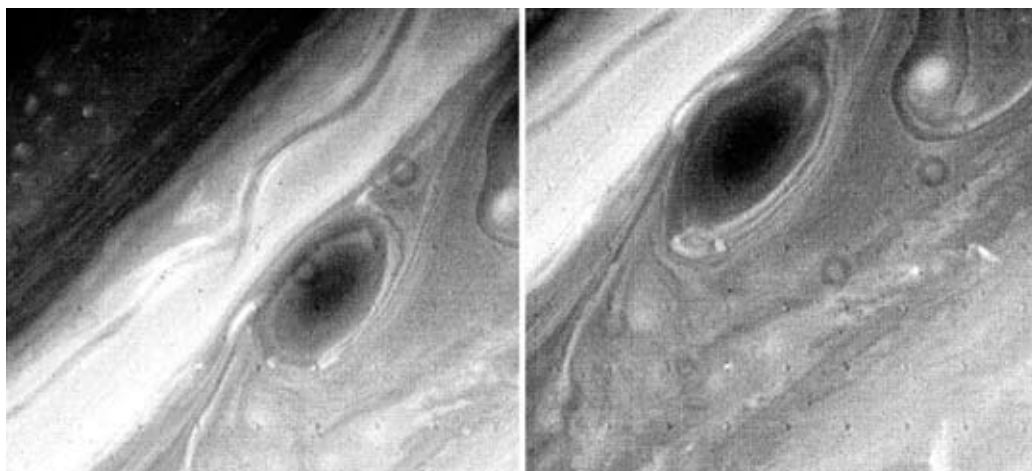
Na Saturnu, kao i Jupiteru, oblaci su vrtjom planeta razvučeni u pojaseve, oni su postojaniji i ne tako živopisni kao Jupiterovi. Oblaci, nastaju na onim visinama na kojima temperatura padne ispod vrijednosti potrebne da se tvar zamrzne i kristalizira. S obzirom da je temperatura Saturnove atmosfere niža od Jupiterove, oblaci nastaju dublje u atmosferi a iznad njih se prostire sloj sumaglice koji Saturnu daje žućkastu boju i ometa pogled na oblake. Sumaglica sadrži čestice smoga nastale u plinu uslijed djelovanja Sunčeve svjetlosti. Fotografije u infracrvenom svjetlu pokazuju pojaseve mnogo izraženijim. Slojevi oblaka na Saturnu su više razmaknuti jer je gravitacija planeta manja nego Jupiterova.

U ekvatorskom području pušu vjetrovi prema istoku (u smjeru vrtnje planeta) brzinom do 1500 kilometara na sat i među najbržima su u Sunčevu sustavu. Brzina vjetrova opada s približavanjem polovima, pa na širinama iznad 40° vjetrovi pušu u oba smjera. Vjetrovi na Saturnu pokreću goleme atmosferske vremenske sustave. U atmosferi Saturna vidljive su ovalne pjegice (sl. 6.3.) poput onih na Jupiteru, od kojih neke traju i po nekoliko mjeseci. Osim usamljenih pjega sonde su snimile mnoge vrtloge i vlaknaste strukture koje nastaju u područjima velikih razlika u temperaturi.

Proučavanjem starih fotografija i crteža utvrđeno je da otprilike svakih 30 godina, tijekom ljeta na sjevernoj polutki, na Saturnu izbiju oluje koje blizu ekvatora stvaraju velike bijele pjegice. Prvi put su bijeli olujni oblaci na Saturnovom ekvatoru viđeni 1876. godine, posljednji put su promatrani 1990. svemirskim teleskopom Hubble.

## Svojstva unutrašnjosti planeta

Saturnova unutrašnjost je slična Jupiterovoj, međutim zbog manje mase u njoj vladaju niži tlakovi i temperature. Saturn ima malu jezgru sazdanu od stijena i leda, s masom 10 do 17 puta većom od Zemljine. Na jezgru se nastavlja sloj metalnog vodika koji se spustio mnogo dublje nego



Sl. 6.3. Na dvjema fotografijama Voyagera 2 snimljenim u razmaku od deset sati uočavamo kružno gibanje oblaka oko tamne ovalne pjegice.

u mnogo masivnijeg Jupitera. Iznad njega je sloj tekućeg vodika koji zauzima najveći dio volumena i naposljetku nalazi se oblačna vodikova atmosfera debljine 20 000 km.

Drugi izvor podataka o Saturnovoj unutrašnjosti je energetska bilanca. Unutrašnjost Saturna je vruća, temperatura u središtu dostiže 12 000 K, pa Saturn baš kao i Jupiter zrači više energije u svemir nego što je prima od Sunca. Ravnotežna temperatura koju bi Saturn imao da ga grije samo Sunce je 90 K, međutim zbog vlastita izvora energije stvarna temperatura njegovih vanjskih dijelova je 95 – 105 K. Veća temperatura može se kao i u Jupitera objasniti, Kelvin-Helmholtzovim mehanizmom gdje potencijalna energija gravitacijskog polja sažimanjem prelazi u toplinsku. Međutim Saturn je znatno manji od Jupitera i spomenuti mehanizam nikako ne može biti dostatno objašnjenje za svu proizvedenu energiju. Sve upućuje na to da mora postojati dodatan izvor energije. Jedno od mogućih objašnjenja energetske viška proizlazi iz manjka helija u atmosferi. Početni omjer između vodika i helija bio je 9:1, o čemu svjedoči sastav Sunčeve fotosfere i Jupiterove atmosfere. Prema mjerenjima sonde Saturnova atmosfera sadrži 96,7 posto vodika i tek tri posto helija.

S obzirom da modeli predviđaju podjednake omjere kod oba planeta, pretpostavlja se da helij polako tone prema središtu, te da je to uzrok veće temperature. Naime, Saturn je manji od Jupitera i više udaljen od Sunca, zato se brže hladio pri čemu je došlo do kondenzacije helija. Sitne kapljice helija su tonule prema gorućoj jezgri i pridonijele oslobađanju topline. Što se točno događalo s helijem u unutrašnjosti Saturna nije lako objasniti, jer u naše vrijeme još uvijek nisu poznati svi procesi koji se odvijaju u jezgrama velikih planeta a u laboratorijima na Zemlji nije moguće simulirati takve uvjete. Znamo, da je tekući helij supertekućina, koja je mogla proći kroz omotač od tekućeg vodika i potonuti prema jezgri. Struje koje osciliraju metalnim vodikom stvaraju Saturnovo magnetsko

polje. Zbog manje količine vodljivog materijala – metalnog vodika koji je znatno dublje, Saturnovo magnetsko polje je slabije od Jupiterovog. Na rubovima planeta po jačini otprilike je jednako magnetskom polju na površini Zemlje ali je mnogo prostranije – doseže do udaljenosti oko 20 do 35 Saturnovih polumjera.

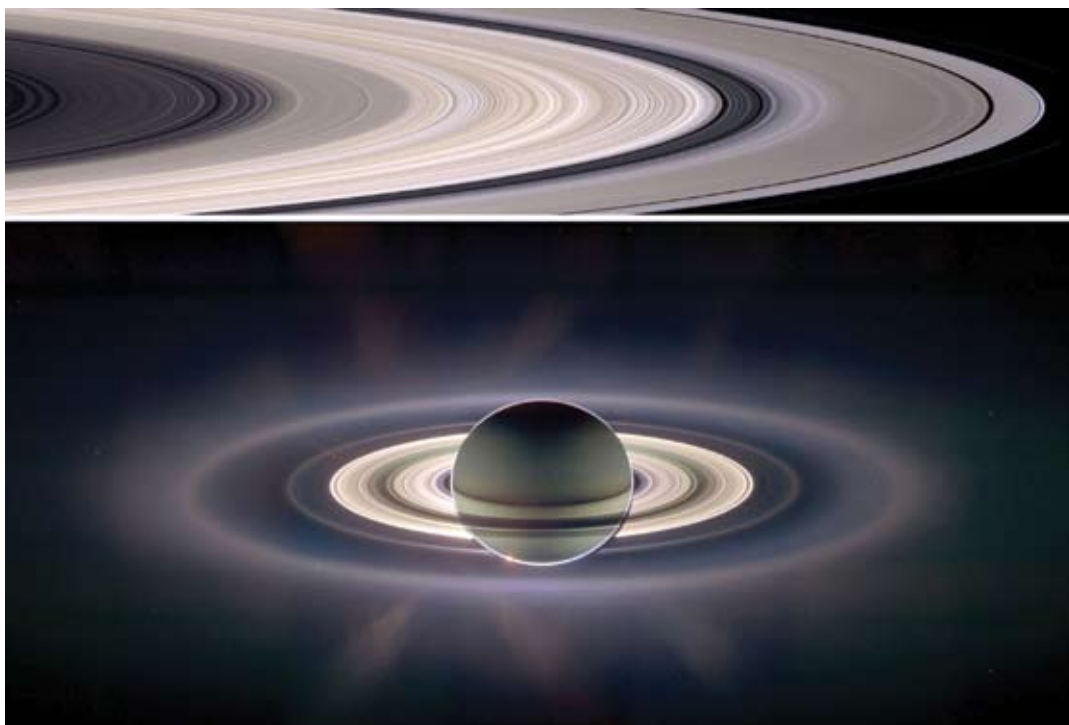
Os magnetskog polja se skoro podudara s osi vrtnje planeta, odklon je manji od jednog stupnja. Cassinijeva su mjerenja utvrdila da period rotacije magnetskog polja iznosi 10 sati, 47 minuta i 6 sekundi, ovo ujedno ukazuje na brzinu vrtnje unutrašnjosti planeta s kojom je magnetsfera čvrsto povezana.

Ovisno o intenzitetu Sunčevog vjetra veličina Saturnove magnetosfere se uvelike mijenja, na nju utječe i rep goleme Jupiterove magnetosfere. Kao i na Zemlji, međudjelovanje magnetosfere, atmosfere i Sunčevog vjetra iznad polarnih područja Saturna stvara moćne polarne svjetlosti.

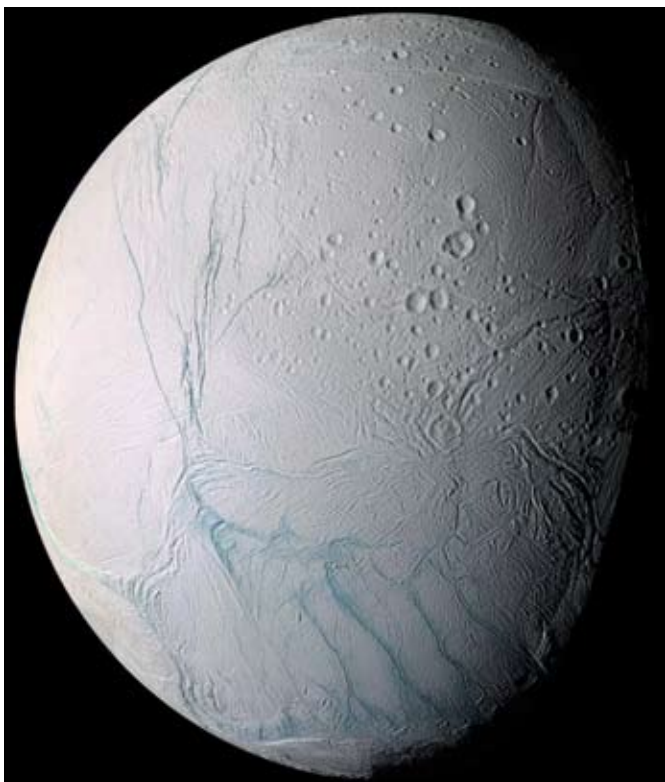
Letjelica Cassini je 2004. otkrila veliki oblak kisika koji okružuje Saturn, te još veći oblak vodika koji se proteže sve do udaljenosti od 45 planetnih promjera. Vjeruje se da međusobni sudari među česticama u prstenu, te sudari tih čestica sa satelitima dovode do rasipanja čestica vodenog leda, koji se nakon toga uslijed djelovanja Saturnovog jakog magnetskog polja razlaže na vodik i kisik.

## Prstenovi izbliza

Saturnovi prelijepi prstenovi već više od 300 godina izazivaju divljenje astronoma, međutim tek su svemirske letjelice uspjele razotkriti neke njihove tajne. Fotografije snimljene iz neposredne blizine su pokazale da se Saturnovi prstenovi sastoje od stotinjak tisuća uskih prstenčića, koji se, gledani s daleke Zemlje, stapaju u tri glavna prstena (sl. 6.4.).



**Sl. 6.4.** Na gornjoj slici je mozaik fotografija Saturnovih prstenova sastavljen od šest snimki načinjenih s Cassinija. Na slici dolje vidimo Saturn i njegove prstenove osvijetljene Sunčevom svjetlošću sa stražnje strane. Snimke su načinjene iz sjene koju čini planet.



Sl. 6.9. Ledom prekriveni Enkelad snimljen s udaljenosti 170 km.

## Gejziri na mjesecu Enkeladu

Enkelad (sl. 6.9.) je rekorder po albedu, jer njegova sjajna ledena površina zrcali skoro svu svjetlost koja pada na njega. Takvo što među planetima i njihovim satelitima dosad nije viđeno. Na Enkeladu je malo udarnih kratera i oni su utisnuti u ledeno tlo. Letjelica Cassini otkrila je na površini Enkelada erupcije vodene pare i ledenih čestica slične gejzirima, što po mišljenju nekih znanstvenika uka-

zuje na mogućnost postojanja tekuće vode ispod njegove zaleđene površine. Unutrašnju toplinu mogli bi stvarati radioaktivni elementi i moćna gravitacija Saturna koja mjesec stalno razvlači i stišće.

I mjesec Tetis je izrovan mnogobrojnim kraterima, najveći ima promjer 400 km i više koncentričnih krugova. Preko velikog dijela ovog mjeseca prostire se golemi kanjon dubok nekoliko kilometara, koji je vjerojatno nastao uslijed širenja globusa i pucanja kore.

Mjesec Feba kruži u smjeru suprotnom od većine ostalih mjeseca i ima vrlo nagnutu putanju, pa se pretpostavlja da se radi o objektu Kuiperova pojasa zarobljenom Saturnovom gravitacijom.

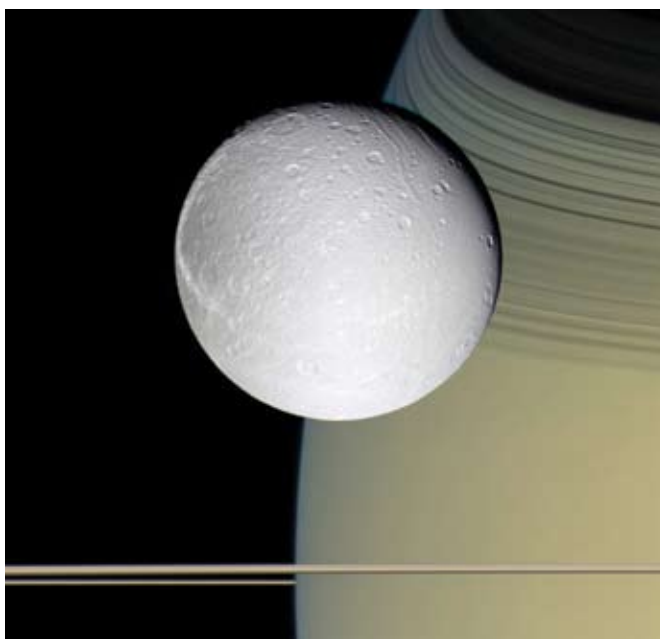
Jedan od najčudesnijih Saturnovih satelita - mjesec Japet (Iapetus), je uvijek okrenut Saturnu istom stranom. Njegova polutka koja je okrenuta prema smjeru kruženja, uvijek je sumorno tamna, odražava jedva 3 do 5 posto svjetlosti. Stražnja strana je sastavljena od visoko reflektirajuće tvari koja odražava gotovo 50 posto primljene svjetlosti (sl. 6.10.). Ovo ga čini različitim od svih ostalih Saturnovih satelita (kao i od Jupiterovih satelita), koji su sjajni na svojoj vodećoj hemisferi. Jedno od dva moguća objašnjenja tamnog materijala je da su tamne čestice bile izbačene sa Saturnovog malog satelita Febe. Drugo objašnjenje glasi da su unutarnjeg porijekla.

Diona i Rea (Rhea) također imaju različite strane. Diona (sl. 6.11.) je poslije Titana najgušći Saturnov satelit. Strana koja gleda u smjeru gibanja je ravnomjerno osvijetljena dok je prateća strana tamnija i iskržana svijetlim trakama koje se presijecaju. Neki su dijelovi pokriveni kraterima većim od 100 km, dok u drugima kratera gotovo i nema. Vidljivi su tragovi vulkanske aktivnosti i tektonski pomaci velikih područja.

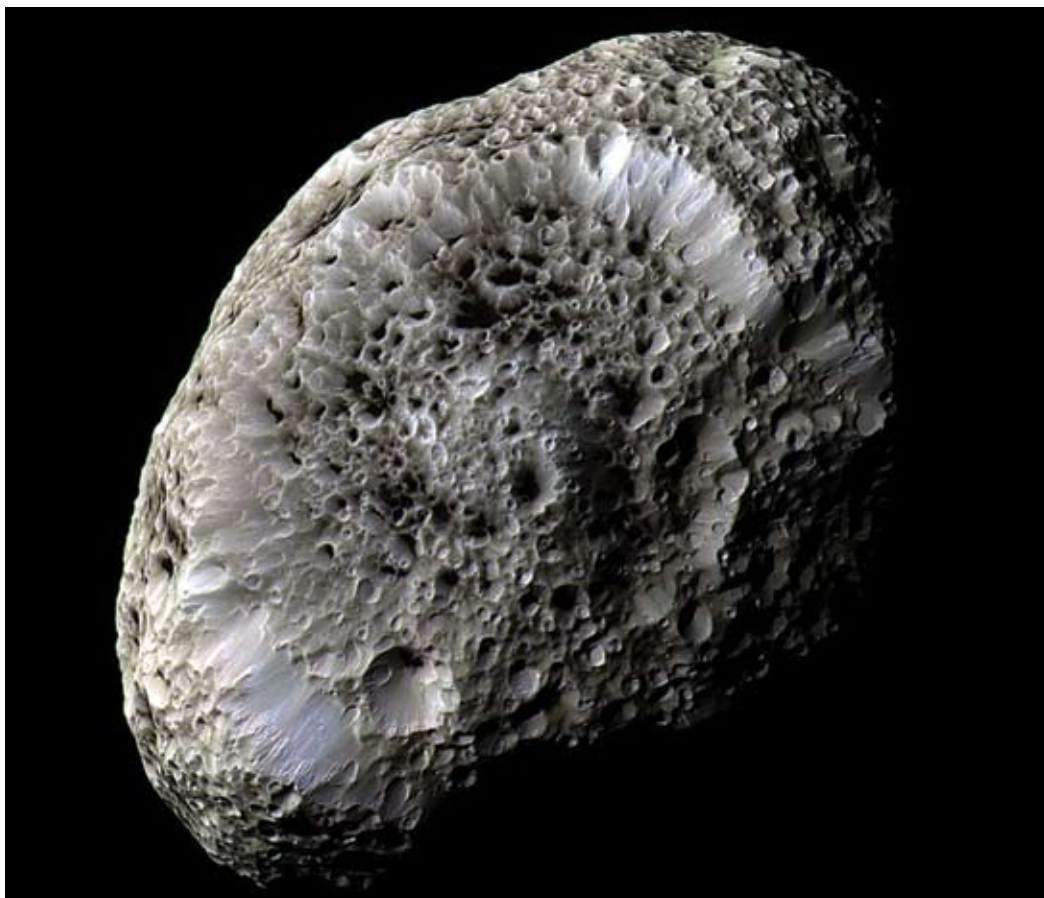
Mjesec Rea je vrlo sličan Dioni ali je malo veći. Tamnijom stranom mjeseca pružaju se svijetle trake koje su vjerojatno posljedica žestokih udara pri kojima je svijetli materijal bio izbačen kroz pukotine na površinu. Prednja - svijetlija



Sl. 6.10. Japet, kako ga je u rujnu 2007. snimila letjelica Cassini s udaljenosti od 70 000 kilometara.



Sl. 6.11. Diona snimljena kao da lebdi iznad tankih Saturnovih prstenova.



Sl. 6.12. Ovaj jedinstven snimak Saturnovog mjeseca Hiperiona načinila je sonda Cassini s udaljenosti 62 000 km. Krumpirastog oblika i posve prekriven kraterima, Hiperion bi mogao biti ostatak većeg mjeseca koji se raspao.

strana – toliko je izrovana kraterima da bi novi udari mogli dovesti do pojave kratera jedino na račun pređašnjih. Pomoću instrumenata na letjelici Cassini početkom 2008. godine detektirani su komadići međuplanetarne tvari koji oko Reae formiraju prstenasti disk.

Hiperion (sl. 6.12.) je jedno od najvećih tijela nepravilnog oblika u Sunčevom sustavu i jedino tijelo za koje se zna da ima kaotičnu rotaciju. Ta krumpirasta masa duga je oko 360 km a široka svega 225 km. Unutrašnjost mjeseca sadrži tamni materijal koji prilikom sudara s drugim objektom izbija na površinu sazdanu od vodenog leda.

## Titan

Titan je drugi po veličini satelit u Sunčevu sustavu i jedini koji ima pravu atmosferu, njegov je atmosferski tlak 50 posto veći od zemaljskoga na morskoj razini. Oko Saturna kruži na srednjoj udaljenosti od 1 221 850 km, jedan obilazak oko matičnog planeta načini za 15,95 dana. Kao i u većine satelita rotacija Titana je sinkrona, što znači da on uvijek okreće istu stranu Saturnu.

Najveća srednja gustoća među Saturnovim satelitima ukazuje da Titan osim leda sadrži i stjenoviti materijal. On ima slojevitvu građu: dok se formirao i bio zagrijan, stijene su potonule prema središtu gdje je nastala stjenovita jezgra promjera oko 3400 km, a lakši led pomiješan s manjim stijenama ostao je bliže površini.

Titanove zagonetke počele su izlaziti na vidjelo 1980. godine, kada je sonda Voyager 1 proletjela na udaljenosti od 4000 km od njegove površine skrivene gustom i nepro-

zirnom atmosferom. Tek je nedavno svemirska letjelica Cassini pomoću radara kartografirala dio Titanove površine, baš kao što je Magellan na isti način istražio površinu Venere.

Titanova atmosfera se uglavnom sastoji od molekularnog dušika (oko 80 %) pomiješanog s argonom i metanom. U tragovima su pronađeni etan, vodikov cijanid, ugljikov dioksid i vodena para. Najniži sloj Titanove atmosfere je troposfera s oblacima, koji su sazdan od kapljica metana koje povremeno padaju na površinu kao kiša. Iznad nje se nalazi debeli sloj smoga, koji nastaje fotolizom metana. Metan se pod djelovanjem ultraljubičaste svjetlosti razgrađuje na radikale, oni se zatim spajaju u složenije ugljikovodike i vežu uz čestice prašine koje potom padaju na površinu kao otrovna susnježica. Ta mješavina organskih molekula slična je spojevima koji su omogućili sirovinu za nastanak života na Zemlji.

Iznad smoga u najvišim dijelovima atmosfere koji graniče s međuplanetarnim prostorom je rijedak sloj sumaglice u kojem ima mnogo vodika. S obzirom da Titan nema vlastito magnetsko polje, a ujedno se nalazi izvan Saturnove magnetosfere, izravno je izložen djelovanju Sunčevog vjetra koji povremeno ionizira atome i molekule najviših slojeva njegove atmosfere i odnosi ih u svemir.

Atmosfera je uspjela opstati i ostati gravitacijski vezana uz Titan zahvaljujući niskim temperaturama koje vladaju tim dijelom Sunčeva sustava. Temperatura na površini Titana iznosi između 175 i 180 stupnjeva ispod Celzijeve ništice. Pri tamošnjim atmosferskim uvjetima ugljikovodici metan i etan su blizu takozvane trojne točke, pri kojoj mogu postojati u sva svoja tri agregatna stanja. To znači

## U predgrađu Sunčeva sustava

*Onkraj Neptunove staze pa sve do vanjskih dijelova Sunčeva sustava, proteže se Kuiperov pojas – carstvo stjenovitih, ledenih tijela čije je postojanje potvrđeno 1992. godine. U Kuiperovom pojasu zamijećeno je više od tisuće objekata, a astronomi predviđaju da je ondje još najmanje 70 000 objekata s promjerom većim od 100 km. Donedavno je najveće tijelo Kuiperova pojasa bio Pluton a onda su astronomi otkrili Eris...*

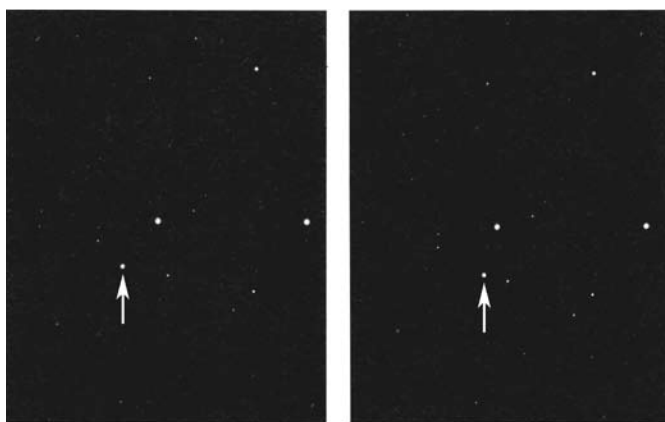
**K**ada je 1846. godine otkriven Neptun, izgledalo je kako je u Sunčevom sustavu napokon uspostavljen red i da se planeti kreću u skladu s Keplerovim i Newtonovim zakonima. Međutim, pedesetak godina kasnije, astronomi koji su pažljivo proučavali putanje Urana i Neptuna zaključili su da bi mogao postojati jedan još udaljeniji planet. Na osnovi detaljne analize poremećaja u Uranovu kretanju američki astronom Percival Lowell, inače poznat po izučavanju Marsovih kanala, je izračunao elemente staze hipotetskog devetog planeta. Lowell je sa svoje zvjezdarnice u Flagstaffu u Arizoni, fotografski pomno istražio predskazanu oblast neba ali bez uspjeha. Istu sudbinu doživjelo je i pretraživanje snimaka načinjenih 1909. godine prema proračunima američkog astronoma Williama Pickeringa, koji je uzeo u obzir i Neptunovo kretanje. Za nepoznatim planetom – planetom X, astronomi su bezuspješno tragali punih 20 godina. Godine 1929. na Lowellovoj zvjezdarnici postavljen je novi astrograf promjera objektiva 33 cm, posebno namijenjen potrazi za transneptunskim planetom. Iste godine u zvjezdarnicu dolazi i mladi astronom amater Clyde Tombaugh kojemu je povjeren rad s novim teleskopom. U travnju 1929. on počinje sa sustavnim snimanjem zvijezda Blizanaca gdje bi se navodno trebao nalaziti planet X. Isto

područje neba snimao bi dvije, tri noći kasnije i zatim na tzv. blink-komparatoru uspoređivao fotografske ploče tražeći među nepokretnim zvijezdama par čiji se likovi ne poklapaju. Danonoćni mukotrpan rad se isplatio: 18. veljače 1930. godine Tombaugh je na dvjema različitim snimkama istog područja neba (sl. 8.1.) opazio da je jedna zvijezda promijenila položaj, ubrzo je utvrđeno je to planet kojeg su tražili! Otkriće je službeno objavljeno 13. ožujka 1930. godine na 75. godišnjicu rođenja Percivala Lowella i 149 godina nakon otkrića Neptuna. Odmah po otkriću dodijeljen mu je status planeta a na prijedlog 11-godišnje Venetie Burney dobio je ime Pluton. U grčkoj mitologiji Pluton je bog podzemlja i čuvar duša mrtvih.

### Sustav Pluton – Haron

Novootkriveni planet bio je znatno manji nego što se očekivalo, njegov ekvatorski promjer iznosi samo 2306 km, što znači da je manji od Zemljinog Mjeseca. Planet se kreće po jako izduženoj stazi, pa mu se udaljenost od Sunca mijenja od 4,45 do 7,38 milijardi kilometara. Kod svakog 248-godišnjeg kruženja, Pluton se 20 godina Suncu približi više od Neptuna – posljednji put to je bilo u razdoblju od 1979. do 1999. godine, ali se dva planeta pritom ne mogu sudariti. Naime, Pluton obilazi Sunce u rezonanciji s Neptunom u odnosu 3:2, što znači da za vrijeme dok Neptun tri puta obiđe Sunce, Pluton to učini dva puta. Točku u kojoj je otkriven davne 1930. godine, Pluton neće dosegnuti sve do 2177. Staza mu je nagnuta 17° prema ekliptici (inklinacija), što je više od bilo kojeg drugog planeta u Sunčevu sustavu. Sunce na nebu Plutona ima promjer manji od jedne lučne minute, stoga se golim okom vidi tek kao najsajnija zvijezda. Na osnovi periodičnog kolebanja sjaja utvrđeno je da Pluton jedan okret oko svoje osi načini u 6 dana, 9 sati i 21 minutu.

Nedugo nakon otkrića postalo je jasno da Plutonova masa nije ni približno dovoljna da bi mogla objasniti poremećaje u gibanjima Urana i Neptuna. Novootkriveni planet Pluton bio je majušan i skoro beznačajan objekt. Parametri putanje Plutona uvelike su se razlikovali od proračunatih, što je ukazivalo da je planet otkriven



**Sl. 8.1.** Pluton se na ove dvije fotografije snimljene u razmaku od šest dana vidi kao zvijezda koja je promijenila položaj. U veljači 1930. otkrio ga je Clyde Tombaugh s Lowellovog opservatorija u Arizoni.

## Otkriće Sedne i Erisa

Dana 15. ožujka 2004. Brownova skupina objavila je otkriće dosad najudaljenijeg objekta Sunčeva sustava, većeg od Quaoara. Objekt s oznakom 2003 VB<sub>12</sub> i predloženim imenom Sedna (koje je kasnije postalo i službeno ime) se u vrijeme otkrića nalazio na udaljenosti 90 AJ, što znači da je od Sunca tri puta udaljeniji od Plutona. Novootkriveno tijelo ima promjer oko 1800 km, što je tek malo manje od promjera Plutona. Sedna se giba po vrlo izduženoj stazi (sl. 8.5.) s orbitalnim periodom 10 500 godina. Suncu će se najviše primaknuti 2075. godine na 76 AJ i tada će još uvijek biti dva puta dalje nego Pluton. Na najudaljenijem dijelu svoje staze od Sunca je udaljena 130 milijardi kilometara, što je 900 puta više od udaljenosti Zemlja – Sunce. Površina Sedne je izrazito crvenkasta.

Nakon što su se počela otkrivati sve veća tijela bilo je samo pitanje vremena, kad će u Kuiperovom pojasu biti otkriveno tijelo veće od Plutona.

I to se dogodilo, 29. srpnja 2005. godine kada su astronomi Brown, Trujillo i Rabinowitz, objavili kako su otkrili čak tri objekta, od kojih su dva nešto manja a jedan je veći od Plutona.

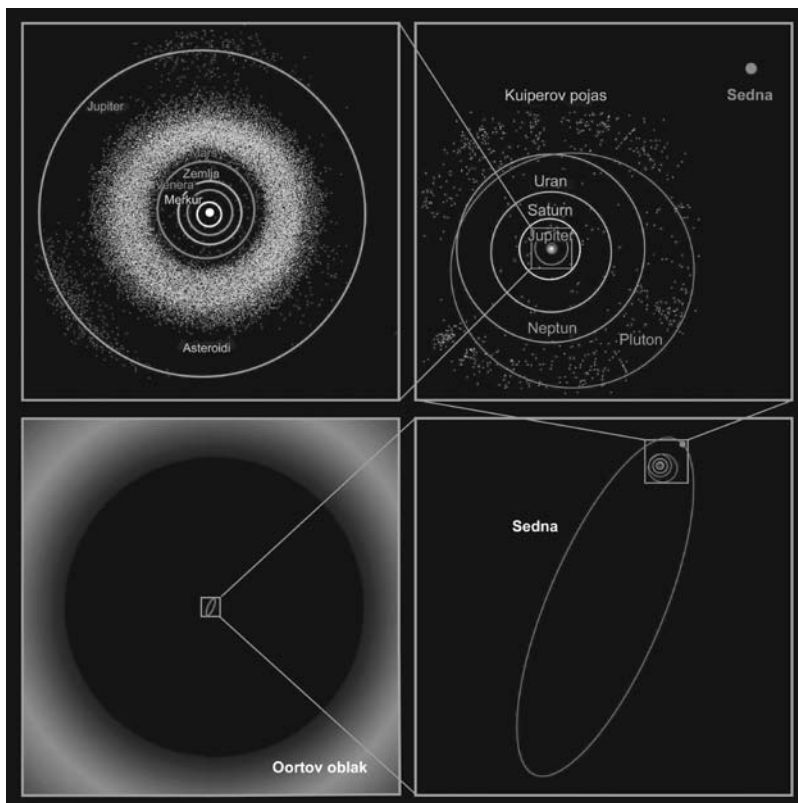
Prema dosadašnjim procjenama novootkriveno tijelo 2003 EL<sub>61</sub> ima promjer 1500 km, dakle približno 2/3 promjera Plutona. Američki astronomi su otkrili da oko njega kruže dva mala pratioca. Iz mjerenja vremena obilaska njegovih mjeseca određena je masa objekta 2003 EL<sub>61</sub> koja iznosi oko 32 posto mase Plutona. Sve ukazuje da je ovo tijelo sazdano pretežno od leda. Objekt 2003 EL<sub>61</sub> kruži oko Sunca po izduženoj eliptičnoj stazi na približno istoj udaljenosti kao Pluton i našu zvijezdu obiđe jednom u 285 godina. Drugi objekt 2005 FY<sub>9</sub>, malo je veći, oko Sunca kru-

ži na sličnoj udaljenosti kao 2003 EL<sub>61</sub>, on nema satelite. Po sastavu više je sličan Plutonu i ima najvjerojatnije jezgru sazdanu od leda i stijena, prekriven je sa smrznutim metalom. Objekt 2005 FY<sub>9</sub> je 2008. dobio ime Makemake.

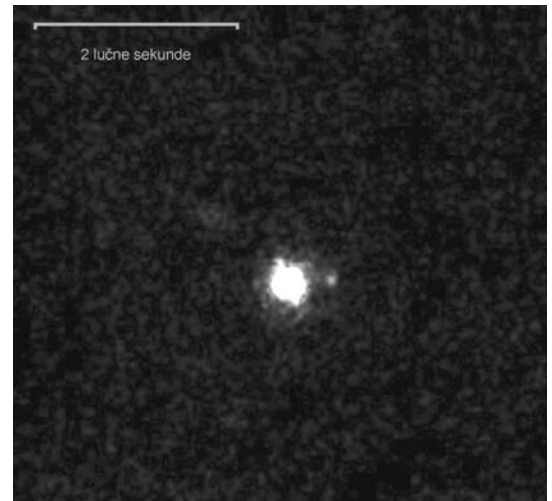
Najznačajnije otkriće predstavlja objekt 2003 UB<sub>313'</sub> koji je veći od Plutona. Njegova staza vrlo je izduljena. U vrijeme kad je Suncu najbliži nalazi se unutar Plutonove putanje, kad je najdalje, skoro je triput dalje od Plutona. Trenutno je udaljen od Sunca 97 AJ – usporedbe radi Pluton je od Sunca udaljen 40 AJ. Objekt 2003 UB<sub>313</sub> koji je dobio ime Eris (Erida) obiđe Sunce svakih 560 zemaljskih godina. Za razliku od drugih planeta, čije staze leže skoro u ravnini ekliptike, staza »desetog« planeta je čak 45 stupnjeva nagnuta u odnosu na tu ravninu. Dosadašnja opažanja pokazuju da je novootkriveni objekt sličan Plutonu, u listopadu 2005. otkriveno je da i on ima malog pratioca koji je dobio ime Dysnomia (sl. 8.6.a i 8.6.b). Na osnovi prividnog sjaja promjer Erisa je procijenjen na 2400 do 2700 km, što znači da je nekoliko stotina kilometara veći od Plutona (sl. 8.7.). Ubrzo su među astronomima započele nove rasprave jesu li ovi objekti novi planeti ili samo jedan od njih, ili možda niti jedan? Štoviše mnogima je postalo jasno da ovim otkrićem nismo dobili deseti planet, već smo izgubili deveti, jer Pluton zbog svoje izdužene i nagnute staze te skromne veličine nije planet.

## Transneptunski patuljasti planeti - plutoidi

Na Generalnoj skupštini Međunarodne astronomske unije (IAU) održanoj u Pragu u kolovozu 2006. godine prihvaćena je nova definicija planeta prema kojoj se planet mora kretati oko Sunca (matične zvijezde), mora biti



Sl. 8.5. Sedna se giba po vrlo izduženoj putanji s orbitalnim periodom oko 10 500 godina. Čak kad je najbliže Suncu, još je uvijek dva i pol puta dalje nego Pluton, potom će je putanja odvesti još 12 puta dalje u udaljeno područje svemira.



Sl. 8.6.a Transneptunski patuljasti planet- plutoid Eris i njegov mali pratitelj Dysnomia (desno).



Sl. 11.9. Hoba West je najveći meteorit nađen u jednom komadu. Težak je oko 66 tona i još uvijek leži na mjestu pada u Namibiji.



Sl. 11.10. Golemi željezni meteorit Willamette snimljen 1911. godine.

ka. Kad ih promatramo mikroskopom, u njima vidimo zaustavne tragove kozmičkih zraka. Tragovi se stanjuju i nestaju na određenoj dubini ispod površine meteorita. Na ovaj način može se odrediti koliko su vremena meteoriti lutali prostorom, prije nego što su pali na zemaljsko tlo.

## Najveći meteoriti

Najviše pronađenih meteorita ima masu od pet do deset kilograma, veći primjerci su malobrojni (tablica 11.2.). Najveći od poznatih je Hoba West (sl. 11.9.) željezni me-

teorit nađen u jugozapadnom dijelu Afrike (Namibija). Masa tog meteorita procijenjena je na 66 tona. Nađen je 1920. godine, a pretpostavlja se da je na Zemlju pao još u prapovijesno doba. Dug je oko 3 m i širok 2,5 m, te i dalje stoji zakopan u vapnenačko tlo na mjestu gdje je pao. Proglašen je prirodnim spomenikom Namibije. Najveći, pojedinačni, kameni meteorit pao je u Kini 1976. godine i ima oko 1,7 tona. Najveći meteorit pronađen na tlu SAD-a je 15 tona teški željezni meteorit Willamette (sl. 11.10.) otkriven 1902. godine u državi Oregon.

Katkada nastaju čitava kraterska polja i to u slučaju kad meteorit eksplodira prije nego što udari o površinu Zem-

Tablica 11.2. NAJVEĆI METEORITI

Meteorit	Država	Godina otkrića	Tip	Masa (kg)
<i>Željezni meteoriti</i>				
Hoba	Namibija	1920.	Ataxit	66 000
Cape York (Ahnighito)	Grenland	1894.	Oktahedrit	31 000
Armanty	Kina	1898.	Oktahedrit	23 500
Bacubirito	Meksiko	1863.	Oktahedrit	22 000
Cape York (Agpalilik)	Grenland	1963.	Oktahedrit	20 000
Mbosi	Tanzanija	1930.	Oktahedrit	16 000
Campo del Cielo	Argentina	1576.	Oktahedrit	15 000
Willamette	SAD	1902.	Oktahedrit	14 900
Chupaderos	Meksiko	1854.	Oktahedrit	14 100
Mundrabilla	Australija	1911.	Oktahedrit	12 000
<i>Kameno-željezni meteoriti</i>				
Huckitta	Australija	1937.	Pallasit	1400
Krasnojarsk	Rusija	1749.	Pallasit	700
Brenham	SAD	1947.	Pallasit	450
<i>Kameni meteoriti</i>				
Jilin	Kina	8. 3. 1976.	Chondrit	1770
Norton County	SAD	18. 2. 1948.	Achondrit	1073

lje. Tako su, primjerice, stanovnici grada Iman u istočnom Sibiru promatrali za vedrog, sunčanog dana, 12. veljače 1947. godine, u 10 sati i 30 minuta po lokalnom vremenu, jednu izduženu vatrenu kuglu na nebu koja je ostavljala za sobom golemi dimni rep (sl. 11.11.a). Nekoliko minuta potom začula se glasna grmljavina eksplozije.

Kasnije su ekspedicije na području gorja Sikhote-Alin, stotinjak kilometara sjevernije od grada, otkrile dvjestotinjak pojedinačnih kratera, promjera od 1 do 28 metara i mnoštvo fragmenata raspadnutog meteorita (sl. 11.11.b). Opaženi meteorit mora da je pri ulazu u Zemljinu atmosferu imao preko 100 tona.

Vrlo rijetko, približno jedanput u tisućljeću, u Zemljinu atmosferu može uletjeti veće tijelo mase od tisuću do deset tisuća tona. Zračna ovojnica našeg planeta nije u mogućnosti usporiti let takva tijela i ono se s nesmanjenom kozmičkom brzinom, od nekoliko desetaka kilometara u sekundi, zarine u Zemljinu površinu. Na mjestu pada meteorita nastaje veći ili manji krater sličan Mjesečevim kraterima. U mnogim krajevima svijeta nađeni su tragovi većih i starijih meteorskih kratera o čemu smo opširnije govorili u poglavlju o asteroidima.



**Sl. 11.11.a** Umjetnikovo viđenje pojave superbolida Sikhote-Alin nad Sibirom 12. veljače 1947. godine. U jutarnjim satima iznad grada Iman, brzinom od 12,4 km/s, preletio je oko 100 tona teški željezni asteroid koji se raspao neposredno prije pada.



**Sl. 11.11.b** Tijekom devet ekspedicija pronađeno je više od 9000 fragmenata meteorita Sikhote-Alin. Na fotografiji iz 1950. godine: najveći pronađeni meteorit težak 1745 kilograma, snimljen u trenutku dok ga kamion izvlači iz kratera.

DRUGI DIO

---

2

# PROMATRANJE SVEMIRA



Dvojni 10-metarski Keckovi teleskopi na 4200 m visokom vrhu Mauna Kee na Havajima.

## Boje i spektri zvijezda

*Kada svjetlost propustimo kroz trostranu staklenu prizmu, ona se razlaže na sastavne boje, odnosno valne duljine – nastaje spektar. Proučavanje spektra svjetlosti zvijezda i drugih nebeskih tijela donosi podatke o njihovom fizičkom i kemijskom stanju i sastavu. Spektralna analiza dokazuje kako u svemiru postoje jednaki prirodni zakoni, da su svojstva materija ista i mogu se jednako tumačiti.*

Zvijezde su tako daleko da ih na noćnom nebu vidimo kao svijetle točkice različita sjaja. Premda svjetlost svemirskim prostorom putuje najvećom mogućom brzinom u prirodi, da bi s malobrojnih obližnjih zvijezda stigla do nas treba više desetaka godina. Svjetlost dalekih galaksija, koje možemo promatrati samo najvećim teleskopima, putuje do nas milijarde godina. Na temelju vidljive svjetlosti određujemo položaj zvijezde na nebu i njezin sjaj. Kako su sve informacije što dopiru od zvijezda do nas, sadržane u njihovoj svjetlosti, to je proučavanje svjetlosti u tančine za astronomiju najvažniji izvor saznanja.

Složenu prirodu bijele svjetlosti objasnio je Isaac Newton u pokusu načinjenom 1666. Uzak snop Sunčeve svjetlosti, dobiven propuštanjem kroz malu okruglu rupu, projicirao se na zaslonu kao mali bijeli kružić, međutim, isti snop svjetlosti propušten kroz trostranu staklenu prizmu dao je izduženu projekciju spektra boja, kao što se, primjerice, zbiva u dugi koja nastaje lomom sunčeve svjetlosti na kapljicama vode (sl. 12.1.).

Prilikom prolaska svjetlosti kroz prizmu također dolazi do pojave loma svjetlosti, zakretanja putanje svjetlosti na prijelazu zrak/staklo i staklo/zrak. Stupanj zakretanja svjetlosti ovisi o valnoj duljini, što rezultira razdvajanjem svjetlosnih zraka različitih valnih duljina. U spektru

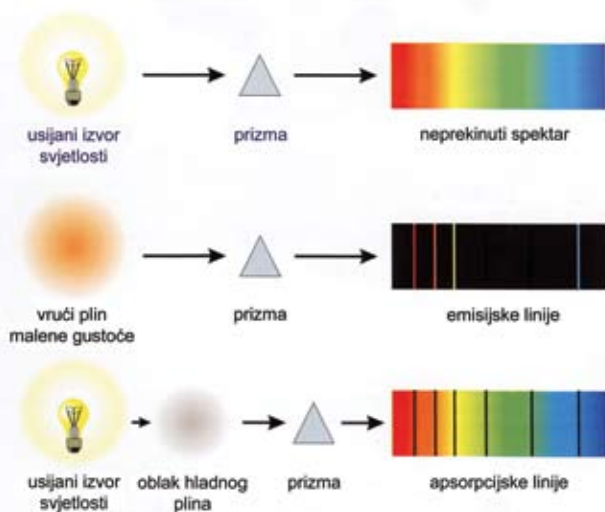
jedne svjetlosti nanizane su jedna uz drugu boje od kojih se ona sastoji. Pokazalo se kako je bijela svjetlost smjesa svih boja koje uopće postoje; one se mogu svrstati u šest glavnih boja, nanizanih u spektru ovim redom: crvena, narančasta, žuta, zelena, plava i ljubičasta.

Više od stotinu godina nakon Newtonovog otkrića, spektar Sunčeve svjetlosti je proširen otkrićem zračenja nevidljivog ljudskom oku. William Herschel u pokusu načinjenom 1800. godine otkrio je infracrveno zračenje. Mjerenjem temperature pojedinih dijelova Sunčevog spektra, Herschel je uočio da se temperaturni maksimum nalazi izvan crvenog kraja vidljivog dijela spektra. Godine 1801. Johann W. Ritter je proučavajući utjecaj svjetlosti na sol srebro-klorid, otkrio da se utjecaj svjetlosti proteže i izvan ljubičastog kraja vidljivog dijela Sunčevog spektra. Time je otkriveno ultraljubičasto područje Sunčevog spektra. Krajem 19. i početkom 20. stoljeća elektromagnetski spektar dodatno je proširen otkrićem radiovalova, u nastavku infracrvene strane spektra, te rendgenskih i gama-zraka, u nastavku ultraljubičaste strane elektromagnetskog spektra. To zračenje nije izdvojeno iz Sunčevog spektra, već je dobiveno eksperimentalnim putem u laboratorijima.

Svestrano ispitivanje spektara vidljive svjetlosti pokazalo je da valja ponajprije razlikovati emisijske spektre od apsorpcijskih (sl. 12.2.). Emisijski spektar daje svjetlost koja dolazi neposredno od izvora svjetlosti (primjerice, od usijanog tijela), ne prošavši kroz druge tvari. Usijana kruta ili tekuća tijela (ili plin pod vrlo velikim tlakom) daju neprekinuti (kontinuirani) spektar u kojemu boje postupno prelaze jedna u drugu. Takav je spektar bijele svjetlosti, koja dolazi primjerice od niti električne žarulje, usijane do bjeline. Vrući plinovi u razrijeđenom stanju zrače linijski spektar koji se sastoji od pojedinih, tamnim prostorom odvojenih, razno obojenih linija. Utvrđeno je, da svakom kemijskom elementu, kad zrači u plinovitom stanju, pripada za njega karakteristični linijski spektar, po kojem se on sa sigurnošću može razlikovati od drugih kemijskih elemenata. Ako zrači smjesa plinova, onda spektar sadržava linijske spektre svih elemenata, od kojih se smjesa sastoji. Stoga je proučavanjem spektra koji zrači jedno plinovito tijelo moguće saznati od kojih se elemenata ono sastoji.



Sl. 12.1. Duga iznad otoka Cresa.



Sl. 12.2. Tri osnovna tipa spektra: usijanog tijela (plinovitog ili krutog); vrućeg plina malene gustoće; usijanog tijela pred kojim se nalazi hladan plin.

Apsorpcijski spektri nastaju kada svjetlost nekog usijanog tijela koja bi dala neprekinuti spektar, prolazi kroz razrijeđeni plin čija je temperatura niža od temperature izvora. U spektru takve svjetlosti opažaju se tamne linije na svijetloj pozadini. Koje će linije biti kod pojedine tvari, koje će vrste svjetlosti iščeznuti u apsorpcijskom spektru, to nas uči važan zakon fizike – Kirchhoffov zakon. On kaže da će neka sredina upiti onu boju, traku ili liniju koju bi, da se nalazi na višoj temperaturi, sama emitirala. Ako je tvar vrući plin, koji, kako znamo, zrači linijski spektar, tada će u apsorpcijskom spektru svjetlosti, koja je prošla kroz taj usijani plin, manjkati baš linije emisijskog spektra dotičnog plina, tj. u apsorpcijskom spektru vidjet ćemo na tim mjestima tamne linije. Prema tome spektralna analiza može iz apsorpcijskih spektara spoznati od kojih se kemijskih elemenata sastoji plin, kojim je prošla svjetlost. To je za astronomiju od velikog značaja.

## Spektroskopija zvijezda

Motreći zvjezdano nebo već golim okom vidimo da zvijezde osim što se razlikuju po sjaju imaju i različite boje (sl. 12.3.). Tako ćemo već kod najsajnijih zvijezda našeg neba naći, da su, na primjer, Sirius, Vega, Altair bijeli, Capella žućkasti, Antares, Aldebaran, Betelgeuse – crvenkasti. Boja zvijezda nije jedno njezino sporedno svojstvo, nego je ona u uskoj vezi s njezinim sastavom i stanjem, osobito s temperaturom. Svjetlost zvijezde, kada prođe kroz prizmu, razlaže se na niz linija ili traka raznih boja. Skoro sve što znamo o zvijezdi dobivamo iz njezina spektra. Moglo bi se reći da su spektri »osobne karte« zvijezda, s pomoću njih možemo pouzdano odrediti fizikalne i kemijske uvjete koji vladaju na zvijezdi.

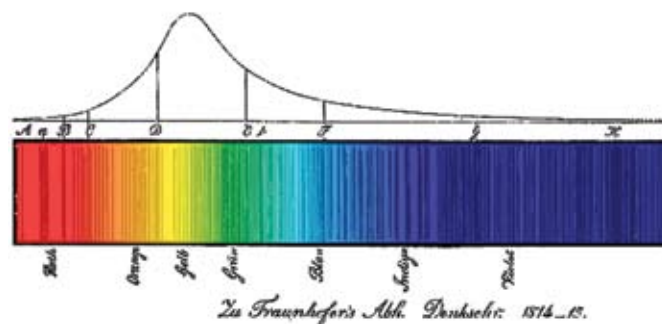
Zvjezdana spektroskopija – proučavanje i klasificiranje spektara, rođena je početkom 19. stoljeća kada je njemački izumitelj leća Joseph Fraunhofer opisao glavne apsorpcij-



Sl. 12.3. Osim što se razlikuju po sjaju, zvijezde imaju i različite boje. Na fotografiji vidimo kuglasti zvjezdani skup M71 u zvijezdu Strelice (Sagitta).

ske linije u Sunčevu spektru, koje je (njih sedam) godine 1802. prvi vidio William H. Wollaston. Proučavajući spektar Sunca 1816. godine Fraunhofer je u njemu otkrio 576 tamnih linija (sl. 12.4.). Njemu u čast tamne linije u spektru Sunčeve svjetlosti nazivaju se Fraunhoferove linije. Danas znamo da su te neobične linije zapravo točno određena mjesta u spektru, odnosno osobite valne duljine svjetlosti, na kojima svaki element ili upija svjetlost – stvarajući tako manjak svjetlosti, a to znači tamnu liniju na položaju te valne dužine u spektru – ili pak vruć isijava stvarajući sjajne linije neke boje. Takvo ponašanje je, kako ćemo kasnije vidjeti, u vezi sa subatomsom građom svakog jedinog elementa i načinom kako on isijava svjetlost.

I u spektrima zvijezda promatrane su tamne apsorpcijske linije, što znači da se zvijezde kao i naše Sunce sastoje od usijane jezgre, koja daje neprekinuti spektar, okružene razrijeđenom ovojnicom vrućih plinova – zvjezdanom atmosferom, koja apsorbira pojedine vrste svjetlosti i nastaju tamne linije. Analiza svjetlosti Sunca i svjetlosti koja nam stiže od dalekih zvijezda pokazala je da Sunce – koje je središte našeg planetarnog sustava – nije nipošto jedino takvo nebesko tijelo ni po čemu jedinstveno u svemiru, osim po tome što je naša središnja zvijezda. U svemiru, ono je samo jedna zvijezda, jedna od nebrojnih mnoštva



Sl. 12.4. Fraunhoferov crtež spektra Sunca.

# Svemirski orijentiri

*Koliko su udaljeni Mjesec, Sunce, planeti i zvijezde? Koliki su pravi razmjeri svemira? Ta su pitanja od davnina pobuđivala znatiželju ljudi. Način mjerenja udaljenosti nebeskih tijela bio je poznat još u antička vremena, međutim kao što se to često događalo u prošlosti, astronomi su morali čekati razvoj tehnologije.*

**N**ajvažniji parametar koji u astronomiji valja utvrditi jest udaljenost koja dijeli nebeska tijela. Astronomi danas na više načina mjere udaljenosti, ali svi oni, na kraju, ovise o mjerenju paralakse. Načelo paralakse poznavali su još stari Grci (grč. *parallaxis* = promjena), a vjerojatno je bilo poznato i ranije, još u Mezopotamiji.

Ispružimo ruku, podignimo palac, te naizmjenice zatvarajmo jedno oko za drugim, opaziti ćemo kako se palac naizgled pomiče amo-tamo u odnosu na svoju pozadinu npr. slika na zidu. Do pomaka dolazi zato jer se mijenja naš smjer gledanja. Razmak između lijevog i desnog oka nazivamo bazom. Ako znamo bazu i izmjerimo kut, za koji se cilj promatranja (u ovom slučaju palac) pomaknuo u odnosu na pozadinu pri pogledu desnim a potom i lijevim okom, možemo jednostavnom triangulacijom izračunati udaljenost cilja svojeg promatranja. Što je od nas udaljeniji objekt koji promatramo, manji će biti njegov prividni pomak u odnosu na pozadinu.

U astronomiji je računanje udaljenosti nebeskog objekta: Mjeseca, planeta, neke bliže zvijezde, jednako računanju udaljenosti palca u našem primjeru. Umjesto slike na zidu ovdje imamo u zaleđu mnoštvo dalekih zvijezda, koje nam služe kao nepomične točke, u odnosu na koje mjerimo pomak nekog bližeg objekta. Jednostavno u teoriji, no puno složenije u stvarnosti.

## Paralaksa Mjeseca

Astronomi su još davno utvrdili kako razmak između lijevog i desnog oka nije dovoljno velik da bi se na taj način mogla izmjeriti Mjesečeva paralaksa, koja u ovom slučaju iznosi svega 16 milijuntinki lučne sekunde. Lijevo i desno oko su vrlo brzo zamijenila dva, međusobno vrlo udaljena promatrača, koji su istovremeno promatrali Mjesec. Kada bi primjerice mjerenja obavljali astronomi međusobno udaljeni 500 kilometara, koji su unaprijed dogovorili kada i kako će mjeriti položaj Mjeseca među zvijezdama, izmjerili bi paralaksu od 2,2 lučne minute.

Najveći astronom stare Grčke, Hiparh iz Nijeke, otkrio je da Mjesec ima zamjetljivu paralaksu, tj. pojavljuje se pomaknut od njegova izračunatog položaja u usporedbi

sa Suncem i zvijezdama, a razlika je veća kada je bliži obzoru. Znao je to jer Mjesec kruži oko središta Zemlje: dok je promatrač na njejoj površini, Mjesec, Zemlja i promatrač oblikuju trokut sa šiljastim kutom koji se mijenja cijelo vrijeme. Iz veličine paralakse, udaljenost Mjeseca se može odrediti mjerenjem Zemljina polumjera. Hiparh je izračunao da udaljenost Mjeseca iznosi 60 Zemljinih polumjera. Uzimajući Eratostenovu (Eratosten) vrijednost promjera Zemlje 6000 km, za udaljenost Mjeseca dobio je zadivljujuće točnih 360 000 kilometara. Naime, prosječna udaljenost Mjeseca od Zemlje je 384 403 km.

Mjerenje Mjesečeve paralakse, premda je jedina koju je moguće odrediti bez uporabe dalekozora, nije nimalo jednostavno jer Mjesečev svijetli disk zasjeni slabiji sjaj zvijezda na nebeskom svodu. Da bi se takvo mjerenje izvršilo dovoljno precizno, trebalo je pričekati potpunu pomrčinu Mjeseca ili pak bliski susret (konjukciju) Mjeseca s nekom od svjetlijih zvijezda.

Mjerenjem paralakse Mjeseca i sjajnijih kometa Tycho Brahe utvrdio je da je paralaksa kometa mnogo manja od paralakse Mjeseca, pa su stoga kometi vrlo udaljena nebeska tijela, a ne meteorološke pojave u gornjim slojevima atmosfere, kako je tvrdio Aristotel.

Suvremena mjerenja udaljenosti Mjeseca obavljaju se tako da se mjeri vrijeme koje je potrebno laserskom svjetlosnom snopu da dođe do Mjeseca, reflektira se od specijalno konstruiranih ogledala koje su na površini Mjeseca postavili astronauti Apolla 11 i vrati na Zemlju (sl. 15.1.). Ta su mjerenja toliko precizna (pogreška je jedva nekoliko centimetara) da se upotrebljavaju za ispitivanje teorije relativnosti. Ona pokazuju da se Mjesec neprestano udaljava od Zemlje brzinom od 3,8 cm godišnje.

## Koliko su udaljeni Sunce i planeti?

Odgovor na to pitanje nađen je pomoću Keplerovih zakona o gibanju planeta (prva dva bila su objavljena 1609., a treći 1619. godine), koji su postali temelj svih daljnjih astronomskih istraživanja Sunčeva sustava. Za određivanje svih udaljenosti u Sunčevom sustavu dovoljno je bilo znati udaljenost samo jednog planeta od Sunca.



**Sl. 15.1.** Suvremeni način mjerenja udaljenosti Mjeseca: zraka laserskog svjetla ispaljena iz opservatorija McDonald u Texasu. Mjeri se vrijeme putovanja laserskog snopa koji se reflektirao od specijalnog ogledala (slika desno) koje su na površini Mjeseca još 1969. godine postavili astronauti Apola 11.

Astronomi su najprije pokušali izmjeriti paralaksu Sunca kako bi pomoću nje točno izračunali udaljenost između Zemlje i Sunca. Ubrzo se međutim uvidjelo da je paralaksu Sunca mnogo teže izmjeriti od paralakse Mjeseca. Ne samo zato što je Sunce puno dalje od Zemlje nego Mjesec, pa je njegova paralaksa bitno manja, već stoga što na Sunčevom disku nema fiksnih mjerljivih točaka kao na Mjesecu. Astronomi su primijenili treći Keplerov zakon na osnovi kojeg su udaljenost Zemlje od Sunca odredili na zaobilazan način, tako što su metodom paralakse mjerili udaljenost Marsa u opoziciji i Venere pri prolasku preko Sunčeva diska. Već pri prvom pokušaju mjerenja, utvrdili su da je Europa premalena za mjerenje paralakse već i najbližih planeta.

Zadatak određivanja udaljenosti Zemlje od Sunca metodom paralakse Francuska akademija povjerila je astronomu Jeanu Richeru koji je, opremljen astronomskim instrumentima i točnom urom, otputovao u Cayenne u Francuskoj Guayani radi opažanja položaja Marsa za opozicije 1672. godine. U to je vrijeme Guayana bila najjužnija francuska kolonija, jer se nalazi u Južnoj Americi samo nekoliko stupnjeva iznad ekvatora. Mars su s pariškog opservatorija opažali Jean Dominique Cassini i l'Abbé Jean Picard. Astronomi su iz ta dva mjesta, u dogovoreno vrijeme, istovremeno brižljivo mjerili položaj Marsa prema dalekim zvijezdama. Poslije nekoliko mjeseci Richer se brodom vratio u Pariz. Nakon dugotrajne, višemjesečne, obrade mjerenja astronomi su na osnovi razlika položaja Marsa u odnosu na zvjezdanu pozadinu odredili Marsovu paralaksu od svega 30 lučnih sekundi i njegovu udaljenost od Zemlje oko 60 milijuna kilometara. Primjenom trećeg Keplerovog zakona za udaljenost Zemlje od Sunca dobili su vrijednost od oko 138 milijuna kilometara. Tako je, posredno, po prvi puta određena Sunčeva paralaksa od 9,5 lučnih sekundi. Relativno velika pogreška posljedica je netočnosti u određivanju položaja Marsa, odnosno njegove paralakse. Bez obzira na to, sada su se napokon mogle barem približno odrediti i udaljenosti svih drugih planeta u Sunčevom sustavu, čime se došlo do spoznaje o stvarnoj veličini našeg planetarnog sustava. Osim Marsa i mjerenja pomaka položaja

Venere prilikom njezina prolaza preko diska Sunca, za određivanje udaljenosti u planetarnom sustavu poslužio je i asteroid Eros koji se ponekad znade približiti Zemlji do 22 milijuna kilometara. Prvo mjerenje provedeno je 1901. godine, a zatim još jednom 1930./31. Tako su, s pomoću Erosa, dobivene vrlo točne trigonometrijske udaljenosti u našem planetarnom sustavu.

U naše se vrijeme mjerenja udaljenosti Zemlje od Sunca temelje na istim načelima, jedino se udaljenost do planeta određuje mjerenjem vremena koje treba radarskom signalu sa Zemlje da se odrazi od površine planeta i vrati na Zemlju. Prvi radarski kontakt s Mjesecom uspio je 1946. godine s pomoću antene Evans Signal Laboratory u sastavu američke vojske. Prvi planet s kojeg smo »čuli« radarsku jeku bio je Venera. Ovaj podvig uspio je 1958. godine radioteleskopom promjera 25 m u Millstone Hill u blizini Westforda (Massachusetts, SAD). Kasnije su uspješni radarski kontakti i sa drugim planetima te sa Suncem.

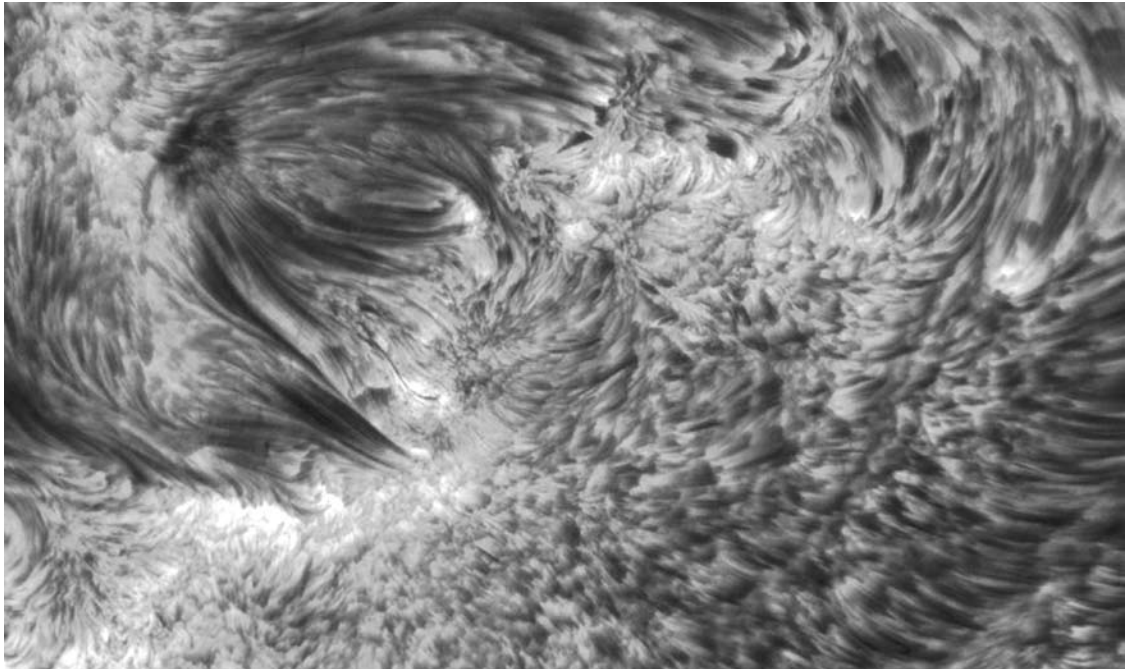
Prosječna udaljenost Zemlje od Sunca nazvana je astronomskom jedinicom (A). Godine 1976. Međunarodna astronomska unija (International Astronomical Union – IAU) definirala je astronomsku jedinicu kao udaljenost od 149 597 870,691 ±0,030 km, a veličinu Sunčeve paralakse 8,794148 lučnih sekundi.

## Stepenice do zvijezda

S obzirom na to da je udaljenost zvijezda velika, kut je njihove paralakse malen. Da bi se taj kut uopće mogao izmjeriti, astronomi su udaljenost između dva mjesta opažanja morali povećati na najveću geodetsku bazu koja čovjeku stoji na raspolaganju, a to je promjer Zemljine putanje oko Sunca (300 milijuna kilometara).

Budući da se Zemlja giba oko Sunca, promatrač na njoj stalno mijenja svoj položaj u prostoru. Ako mjerimo položaj neke zvijezde u razmaku od šest mjeseci, mi je zapravo promatramo iz dvije točke odmaknute 300 milijuna kilometara (sl. 15.2.). Unatoč tako golemom razmaku, pomak položaja zvijezde vrlo je malen. Ipak, dovoljno preciznim mjerenjima morali bi opaziti prividne pomake

**Sl. 16.7.b** Spikule u Sunčevoj kromosferi.



## Bljeskovi i eksplozije na Suncu

Najvažnije pojave u kromosferi nesumnjivo su bljeskovi i prominencije. Kao i svi drugi oblici Sunčeve aktivnosti i ove pojave prate 11-godišnji ciklus. Najčešće se javljaju u vrijeme najveće Sunčeve aktivnosti kada su i najsnažnije.

Bljeskovi su otkriveni tek kada su se počeli primjenjivati specijalni filtri koji su omogućili promatranje kromosfere u spektralnim linijama vodika i ioniziranog kalcija. Uočeno je kako područja u kromosferi iznad pjega, povremeno, u trajanju od nekoliko minuta pa sve do nekoliko sati, znatno povećavaju svoj sjaj, pokazujući kaotične, nepravilne strukture. Ove izgledaju poput vulkana kroz koje Sunce izbacuje tvar iz svoje utrobe. Postoji vrlo jasna povezanost između pjega i bljeskova. Bljeskovi u većini slučajeva započinju u blizini pjega na granici koja razdvaja suprotne polarnosti u grupi pjega.

Bljesak je vrlo složena pojava koja se zbiva cijelom dubinom Sunčeve atmosfere, a nastaje kao rezultat naglog oslobađanja magnetske energije koja se pretvara u kinetičku energiju, toplinu i svjetlost. Sunčeva plazma na tom mjestu može se zagrijati na temperaturu od 10 milijuna kelvina. Energija oslobođena pri tipičnom Sunčevom bljesku jednaka je energiji koja bi se oslobodila kad bi istovremeno eksplodiralo milijun hidrogenskih bombi od 100 megatona!

Za vrijeme bljeskova javlja se intenzivno radiozračenje koje se sastoji od dvije osnovne komponente. Komponenta kontinuiranog zračenja potječe od spiralnog gibanja relativističkih (ultrabrzih) elektrona u magnetskom polju aktivnog središta. Drugi oblik radiozračenja je emisija na plazmenoj frekvenciji, što će reći na frekvenciji oscilacija elektrona u električnom polju koje stvaraju same nabijene čestice. Dok mirno Sunce ne zrači gama-zračenje, takvo se zračenje pojavljuje istovremeno s bljeskovima. Smatra se da gama-zračenje nastaje u interakcijama među elektronima koji su ubrzani skoro do brzine svjetlosti.

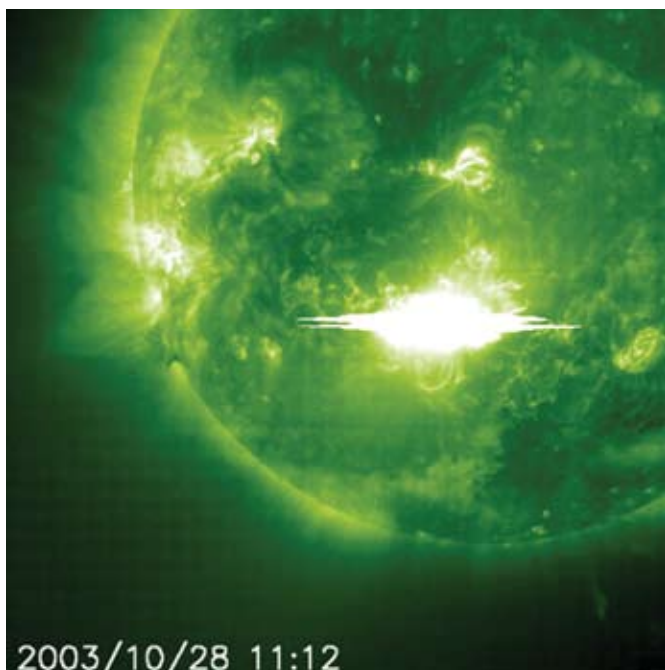
Za vrijeme bljeskova u svemirski prostor bivaju izbačene tzv. Sunčeve kozmičke zrake, visokoenergetske relativističke čestice, pretežno elektroni i atomske jezgre, no mogu biti i druge elementarne čestice. Takve čestice dostižu brzine bliske brzini svjetlosti pa do Zemlje stižu zamalo kad i svjetlost eksplozije. Iako se još pouzdano ne zna gdje se te čestice ubrzavaju, povezanost s bljeskovima ukazuje da svoju golemu kinetičku energiju dobivaju negdje u području bljeska što će reći da Sunce ponekad može djelovati kao vrlo učinkovit akcelerator čestica. Jedan od najjačih bljeskova u povijesti (sl. 16.8.) zabilježen je 28. listopada 2003. godine. Tada je nakratko Sunce u rendgenskom području 100 puta jače sjajilo nego obično. Skoro cijela jesen 2003. godine bila je razdoblje izuzetno pojačane Sunčeve aktivnosti.

## Prominencije

Prominencije (protuberancije) su purpurni mlazovi usijane tvari koji se u vrijeme potpunih pomrčina mogu opažati na rubu Sunca. Prominencije su različitih oblika, veličina i ponašanja (sl. 16.9.). Već se spikule mogu smatrati prominencijama, dakako minijaturnim. Temperatura prominencija je niža od okoliša i iznosi oko 10 000 K, no gustoća plina u njima je veća pa su zbog toga sjajnije.

Opstanak tih pojava u rjeđoj koroni moguć je jedino ako je tlak plina prominencije jednak tlaku okolne korone. Tlak plina razmjernan je njegovoj gustoći i temperaturi pa, prema tome, koliko puta je veća gustoća plina prominencije, toliko puta je njeno temperatura manja u odnosu na okolnu koronu.

S obzirom da je gustoća prominencije 100 puta veća nego u koroni, tvar mora u njoj biti na jednako toliko puta nižoj temperaturi. Na kretanje čestica unutar prominencije presudan utjecaj ima magnetsko polje, stoga ih možemo smatrati materijalizacijom magnetskoga polja iznad aktivnih oblasti.



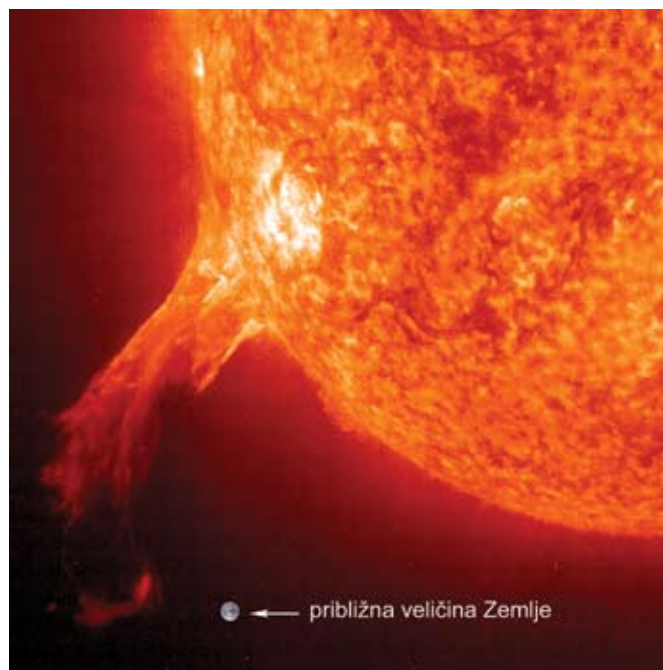
Sl. 16.8. Sunčev bljesak (najsvidljije područje na slici) snimljen 28. listopada 2003. godine iz satelita SOHO.

U prosjeku prominencije traju oko tri Sunčeva obrta, no viđene su i one koje su trajale i više godina. Najčešće se javljaju u obliku mirnih prominencija, one su dugotrajne i mogu se vidjeti na svim dijelovima Sunca. Imaju duljinu oko 200 000 km a u iznimnim slučajevima mogu se protegnuti i do 1 900 000 km. Dižu se do visine oko 50 000 km, pritom im širina ne prelazi 6000 km. Sastoje se od niti čiji su promjeri oko 1000 km. Temperatura mirnih prominencija najčešće iznosi oko 15 000 K. Mogu se usporediti s mostom ili vijaduktom. Donji krajevi prominencija imaju uporište u području između supergranula, premještaju se po raznim heliografskim širinama i mijenjaju smjer pružanja.

Osim mirnih postoje i aktivne prominencije. Aktivne prominencije se vrlo brzo razvijaju (od deset minuta do nekoliko sati), a pojavljuju se na svim heliografskim širinama. Najbolje ih možemo promatrati kada poprime oblik petlje. Tada se može opaziti kretanje tvari u samoj prominenciji. Može se vidjeti kako se s vrha plin slijeva niz strane petlje ili kako izvire iz kromosfere na jednoj strani, kreće se duž čitave petlje i uranja u kromosferu na drugoj strani. Plin struji uzduž linija magnetskoga polja brzinom od nekoliko stotina kilometara u sekundi. Prosječna temperatura plina u aktivnim prominencijama iznosi oko 25 000 kelvina.

U područjima pjega javljaju se tzv. eruptivne prominencije. Za razliku od prethodnih, prominencije ovog tipa prostiru se do vrlo velikih visina, čak više od milijun kilometara. Najčešće se javljaju u obliku luka koji se brzo povećava, nakon pucanja luka materijal pada nazad u kromosferu.

Slijedeća grupa su tzv. prominencije Sunčevih pjega. Sam naziv govori da su uvijek povezane s grupama pjega. Njihovi oblici prate linije silnica jakih magnetnih polja i stoga se, kad su na rubu Sunca, vide u obliku petlji.



Sl. 16.9. Golema Sunčeva prominencija: plin struji duž magnetskih silnica brzinom od više stotina kilometara u sekundi.

## Korona – Sunčeva kruna

Jedna od najspektakularnijih pojava koja se golim okom može promatrati u vrijeme potpunih Sunčevih pomrčina je korona. Njeni zraci prilikom pomrčine izlaze radijalno od Sunca i prostiru se oko njega poput lepeze ili krune (sl. 16.10.). Ponekad se mogu opaziti sjajne zrake koje se obično formiraju iznad flokula i iznad polova. Korona je najviši sloj Sunčeve atmosfere koji počinje na visini od 10 000 km iznad fotosfere i prostire se oko Sunca na udaljenosti od desetak njegovih polumjera. Gustoća joj je mala, od čega proizlazi njena velika prozračnost. Sunčeva



Sl. 16.10. Korona snimljena za vrijeme potpune pomrčine Sunca 2006. godine.

# Život zvijezda

*Poput ljudi i zvijezde se rađaju, žive svoj život, stare i naposljetku umiru. Zvijezde se pojavljuju u svim veličinama i bojama, u rasponu od praznine crne rupe do blistavog plavetnila mladog superdiva. Proučavajući različite vrste zvijezda, astronomi otkrivaju njihove cjelovite životne cikluse.*

**Ž**ivotni vijek zvijezda mjeri se milijunima pa i milijardama godina, stoga ih astronomi ne mogu pratiti od rođenja do smrti. Ali zato mogu promatrati mnoštvo raznih zvijezda različite starosti. Naš je položaj sličan onom u kojemu bi se našao inteligentni posjetitelj s drugog planeta kad bi promatrao prolaznike na nekoj zemaljskoj ulici. Uspoređujući ljude različitih veličina i oblika mogao bi zaključiti koje značajke određuju pojedinu dob pa bi tako moglo ustanoviti kako ljudi sazrijevaju od djetinjstva do starosti.

Slično tome, teorije zvjezdanih struktura ukazuju na to kakve promjene trebamo očekivati kod zvijezde kada termonuklearne reakcije u njezinoj jezgri pretvore jedan element u neki drugi. Proučavajući različite vrste zvijezda uspjeli smo složiti sliku koja nam govori kako tipične zvijezde žive i umiru – od rođenja u međuzvjezdanom oblaku, kroz mladost i zrelu dob, pa sve do ponekad i vrlo spektakularne smrti.

## Paljenje zvjezdane vatre

Prije nego što opišemo glavne i najbolje shvaćene faze života neke zvijezde, vratimo se nakratko na rođenje zvijezda, na proces koji smo već na primjeru

Sunca opisali u prvom poglavlju. Zvijezde počinju život skrivene od pogleda astronoma duboko unutar golemih međuzvjezdanih oblaka plina i prašine (sl. 17.1.). Kada se ravnoteža međuzvjezdanog oblaka poremeti nekim vanjskim utjecajem, kao što je nalet udarnog vala što se širi nakon eksplozije supernove, gušći dijelovi oblaka se pod utjecajem vlastite gravitacije počinju sažimati. Tako se, sakriven unutar ostataka početnog oblaka plina, počne stvarati cijeli skup protozvijezda koje se sve više smanjuju. Protozvijezde se sažimanjem zagrijavaju jer se njihova gravitacijska energija pretvara u toplinu. Kad temperatura poraste na nekoliko stotina stupnjeva, protozvijezde umotane u gusti i hladni oblak plina i prašine počnu slablašno svijetliti. Pritom se veći dio energije pretvara u infracrveno (toplinsko) zračenje.

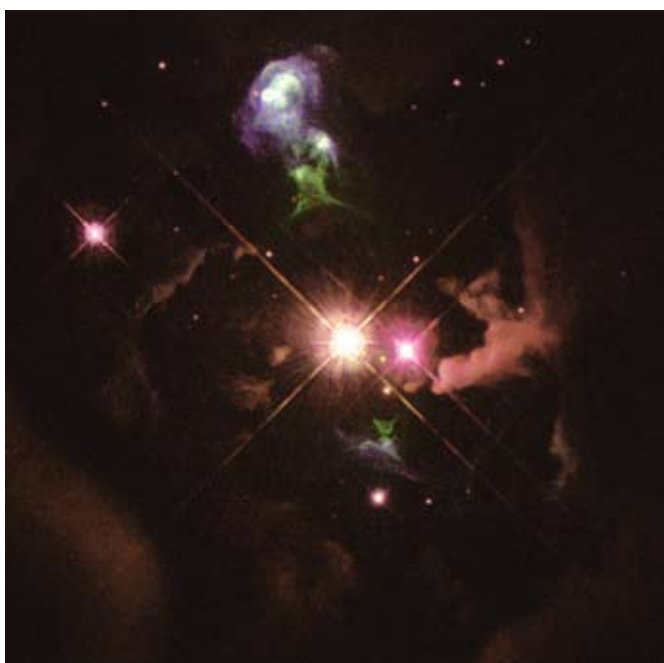
Temperatura u središtu protozvijezda za vrijeme njihova stezanja stalno raste. Kada se plin u središtu protozvijezde zagrije na oko deset milijuna kelvina, u njemu počinju nuklearne reakcije. Fuzijom vodika u helij oslobađa se velika količina energije koja se prenosi do površine zračenjem i konvekcijom (strujanjem zagrijanog plina), a površina je zrači u prostor u obliku svjetla i topline. Tako se protozvijezda pretvorila u pravu zvijezdu. Toplina oko zvijezde unutar maglice raščišćava okolni plin i prašinu stvarajući mjehur više ili manje praznog prostora.



**Sl. 17.1.** Fotografija prikazuje područje stvaranja zvijezda N11B smješteno u Velikom Magellanovom oblaku, galaksiji satelitu Mliječne staze. Vidimo svjetla područja ispunjena usijanim plinom, tamne oblake prašine i mnoštvo vrućih mladih zvijezda. Zračenje tih zvijezda sabija oblake plina i prašine i tako potiče stvaranje novih zvijezda.



Sl. 17.2. Zvezdani skup Pismis 24 u emisijskoj maglici NGC 6357 udaljenoj 8000 svjetlosnih godina u zvijezdu Škorpion.



Sl. 17.3. Objekt Herbig-Haro 32: moćno zračenje novostvorene zvijezde i mlazovi izbačene materije zagrijavaju okolne oblake plina i prašine koji pri dovoljno visokoj temperaturi počinju svijetliti. Objekt HH 32 udaljen je od nas 1000 godina svjetlosti.

Zračenje mladih zvijezda potiskuje ostatak oblaka pa se i on počne sažimati. Tijekom nekoliko milijuna godina cijeli se oblak pretvori u zvijezde. Zbog toga nije neobično da su skupovi zvijezda česta pojava (sl. 17.2.).

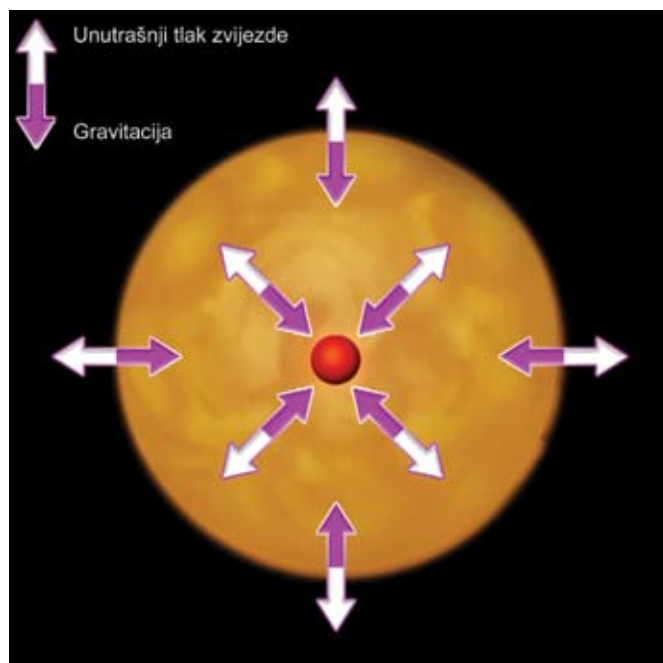
Nakupine plina čija je masa manja od 0,1 mase Sunca nikad se ne zagriju toliko da bi se u njima pokrenule nuklearne reakcije. One će se ohladiti i pretvoriti u objekte vrlo slične plinovitom planetu Jupiteru, samo mnogo veće. Te neuspjele zvijezde nazivamo smeđim patuljcima.

U rubnim područjima nekih molekularnih oblaka nađene su promjenljive zvijezde tipa T Tauri, one se nalaze u stanju stvaranja i primjer su protozvijezda. Sjaj im se mijenja zato što se još nisu uobličile i počele živjeti kao sve normalne zvijezde. Oko mnogih zvijezda tipa T Tauri opaženi se diskovi materijala, a iz njih istodobno u svemir puše jak zvjezdani vjetar koji zagrijava okolne oblake plina i prašine. Zagrijani oblaci postaju svjetlacavi, te svjetlacave plinovito-prašnate maglice u blizini mladih zvijezda nazivamo objektima Herbig-Haro (sl. 17.3.).

Zračenje koje se oslobađa u središtu zvijezde zagrijava plin koji ga okružuje i povećava mu tlak. Taj se tlak suprotstavlja urušavanju slojeva zbog gravitacije. Kad se uspostavi potpuna ravnoteža među silama tzv. hidrostatska ravnoteža (sl. 17.4.), zvijezda se prestane sažimati – postane stabilna – dolazi na glavni niz Hertzsprung-Russellovog dijagrama na kojem će preživjeti većinu – čak do 90 posto – svog života.

### Velike zvijezde žive kraće

Termonuklearne reakcije u zvijezdi održavaju stabilno stanje – stalan radijus, sjaj i temperaturu – tijekom više milijardi godina. Kakvi će se termonuklearni procesi teći



Sl. 17.4. Hidrostatska ravnoteža je uvjet stabilnosti zvijezde. To je ravnoteža između gravitacijske sile i unutrašnjeg tlaka koji u zvijezda sazdanih od idealnog plina ovisi o temperaturi i gustoći a pridonosi mu i tlak zračenja.

## Planetarne maglice

*Planetarne maglice su plinoviti ostaci atmosfera umrlih zvijezda. Na fotografijama, snimljenim velikim teleskopima i dugim vremenima osvjetljavanja opažamo raznolikost čudnovatih oblika koje tvore plinovi u maglicama. Za mnoge su to najljepši objekti na nebu. Za astrofizičare to su najbolji kozmički laboratoriji, u kojima mogu u prirodnim uvjetima proučavati fizikalne procese u međuzvezdanoj tvari.*

**P**romatrane manjim teleskopom, planetarne maglice neodoljivo podsjećaju na diskove planeta, otud su i dobile ime. Prvu planetarnu maglicu nazvanu Bučica (Dumbell nebula) koja se nalazi u zvijezdi Lisice (sl. 20.1.), zabilježio je 1764. godine Charles Messier.

Već prva sustavna opažanja planetarnih maglica pokazala su da je u središtu svake od njih smještena slabašna zvijezda. Pitanje koje je samo po sebi uslijedilo, bilo je: kakve su to zvijezde u središtima planetarnih maglica, i kakva je njihova veza s maglicom?

Danas znamo da su to u pravilu bijele zvijezde spektralnog razreda O s vrlo visokim površinskim temperaturama koje dostižu do 100 000 K i spektrima sličnim onima kao u vrućih zvijezda tipa Wolf-Rayet. S druge strane, njihov slabašni sjaj govori kako se radi o majušnim zvijezdama, dakle – bijelim patuljcima. Zračenje tih zvijezda osobito je intenzivno u nevidljivom ultraljubičastom dijelu spektra. Plinovi i čestice od kojih je maglica sazdana, upijaju to zračenje i reemitiraju ga u vidljivom dijelu spektra – pojava dobro poznata fizičarima kao fluorescencija. Plinovi

u maglici su ionizirani. Ta pojava nam omogućuje da maglicu vidimo u optičkom teleskopu.

### Kratki život maglice

Prva spektralna istraživanja potvrdila su postojanje dviju sjajnih linija u spektrima planetarnih maglica koje se nisu mogle povezati ni sa jednom od poznatih linija kemijskih elemenata. Linije se javljaju na valnim dužinama 495,9 i 500,7 nanometara. S razvojem spektroskopije godine 1927. uspjelo se tajanstvene dvije linije, koje su označene kao  $N_1$  i  $N_2$ , objasniti linijama dvostruko ioniziranog kisika i dušika.

Planetarne maglice vrlo su prozirne. Srednja koncentracija čestica iznosi oko 1000 čestica po kubičnom centimetru, što je  $10^{24}$  puta manje nego koncentracija molekula u atmosferi Zemlje. Mlade planetarne maglice imaju veću gustoću, oko  $10^6$  čestica po  $cm^3$ . Ultraljubičasto zračenje središnje zvijezde zagrijava plin u maglici na temperaturu do 10 000 K. Višegodišnja proučavanja dovela su do otkrića

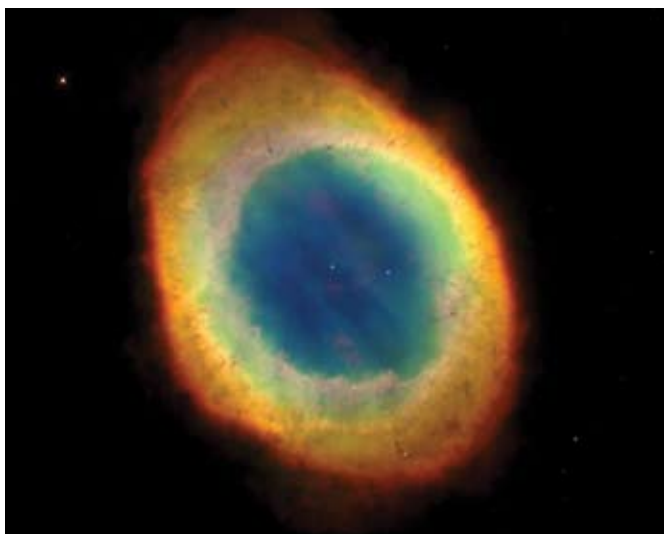
**Sl. 20.1.** Maglica Bučica u zvijezdi Lisice ili M 27, udaljena je od nas 800 s.g. Zvijezda u središtu maglice bila je izvor maglice prije otprilike 10 000 godina, površinska temperatura zvijezde jedna je među najvišima poznatima, doseže čak 125 000 K. Snimljeno s promatračnice u Plominskom Zagorju.



niza zanimljivih procesa, karakterističnih za razrijeđenu plazmu u polju snažnog ultraljubičastog zračenja.

Kemijski sastav planetarnih maglica otkriven je spektrom analizom. Uočena je velika prisutnost vodika i helija i drugih elemenata – kisika, ugljika itd. – ali u znatno manjim količinama. Zanimljivo je da u sastavu planetarnih maglica ima ugljika više od pet puta nego na Suncu.

Sustavnim spektroskopskim proučavanjima velikog broja planetarnih maglica astronomi su utvrdili da se mješavina plinova od kojih su sazdane razlikuje također u ovisnosti od udaljenosti maglice od središta i ekvatorijalne ravnine naše galaksije. Do danas je u našoj galaksiji opaženo oko 3000 planetarnih maglica. Većina ih se nalazi blizu ravnine Mliječne staze, najviše se koncentriraju blizu galaktičke jezgre. Vrlo rijetko se opažaju u zvjezdanim



Sl. 20.2. Prstenasta planetarna maglica M 57 u zvijezdi Lira jedna je od najpoznatijih. Njezina nam svjetlost stiže s udaljenosti od 1410 svjetlosnih godina. U središtu maglice nalazi se zvijezda površinske temperature 75 000 K.

skupovima. Ako s dovoljno točnosti odredimo udaljenosti do planetarnih maglica i proučimo njihov prostorni raspored u galaksiji, možemo izračunati njihov ukupan broj u Mliječnoj stazi – prema današnjim proračunima ukupno ih ima oko 40 000.

Plin koji tvori planetarnu maglicu, stalno se širi brzinom od oko 30 km/s. Usljed širenja gustoća plina brzo pada, a s tim u vezi slabi i sjaj maglice, koja na kraju prestaje biti vidljiva. Životni vijek planetarne maglice – vrijeme za koje je ona vidljiva - iznosi samo nekoliko desetaka tisuća godina.

## Vanjski slojevi zvijezde odlaze u svemir

Nastajanje planetarnih maglica je neizbježna posljedica razvoja »normalnih« zvijezda glavnog niza Hertzsprung-Russellovog dijagrama, s masom 1 do 5 masa Sunca. Kroz nekih 7 do 8 milijardi godina takva sudbina najvjerojatnije čeka i naše Sunce. Znamo da se planetarne maglice neprestano šire. Ako znamo brzinu širenja i sadašnji



Sl. 20.3. Planetarna maglica Mačje oko (NGC 6543) u zvijezdi Zmaja jedna je od najsloženijih, najvjerojatnije je nastala u dvojnog zvjezdanom sustavu. Njezina starost iznosi oko 1000 godina.



Sl. 20.4. Mlada planetarna maglica MyCn18 ima oblik pješčanog sata, udaljena je od nas 8000 svjetlosnih godina.

promjer maglice, možemo se u mislima vratiti u prošlost – u vrijeme kada je promjer maglice bio stotinu puta manji, a njezina gustoća desetak milijuna puta veća. Bili su to kompaktni objekti sa srednjom koncentracijom atoma  $10^{11}$  na  $\text{cm}^3$  i promjera približno deset astronomskih jedinica. Kompaktan objekt s površinskom gustoćom od oko 100  $\text{g}/\text{cm}^3$ , neproziran je za zračenje jezgre, uslijed čega je ioniziran samo onaj dio vodikove ovojnice neposredno oko jezgre. U vanjskim slojevima debele ovojnice, na koju može otpadati veći dio mase, vodik je neutralan i uglavnom u molekularnom obliku. Temperatura tih slojeva je 2000 do 3000 kelvina.

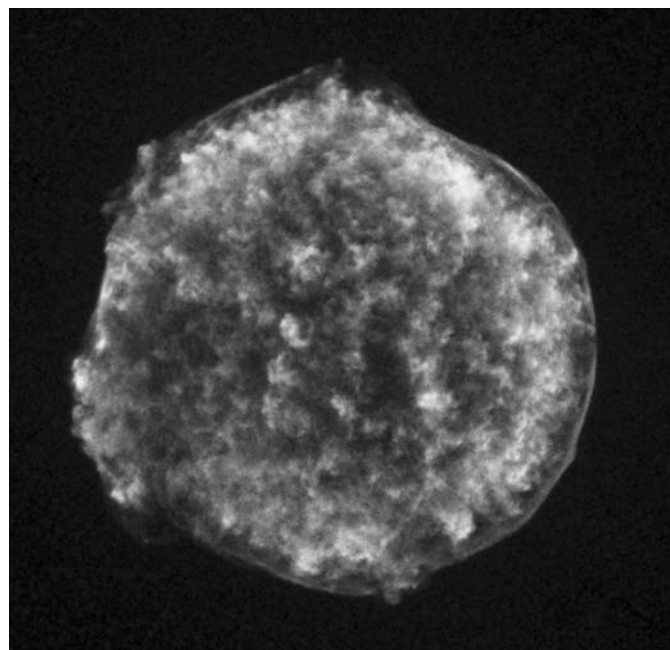
Objekti takvih svojstava mogu biti samo divovske zvijezde poznate nam kao crveni divovi. U naše vrijeme

## Supernove

*Pojava supernove jedan je od najveličanstvenijih događaja u prirodi: radi se o kolosalnoj eksploziji masivne zvijezde koja blista nekoliko mjeseci sjajem milijarde sunaca. Snaga svjetlosti jedne umiruće zvijezde tada je ravna sjaju čitave galaksije, a mi kao svjetlost vidimo tek mali dio ukupne energije. Materija izbačena u svemir u veličanstvenoj kataklizmi utječe na sudbinu svemira, na sav svijet oko nas, pa i na nas same.*

U astronomiju pojam »stella nova« uводи danski astronom Tycho Brahe godine 1572. kada u zvijezdu Kasiopeje opaža, izuzetno sjajnu zvijezdu koja se pojavila na mjestu gdje ranije nije bio vidljiv nikakav objekt. Nekoliko dana neobična »nova zvijezda« bila je sjajnija od Venere i mogla se vidjeti danju, Brahe ju je promatrao 457 dana, nakon čega je zvijezda utonula u nevidljivost. Današnja radio i rendgenska astronomija na tom je mjestu otkrila maglicu, koja svjedoči o nekadašnjoj eksploziji (sl. 23.1.a). U ljudskoj povijesti postoje zapisi samo o četirima tako sjajnim novim zvijezdama, one su kasnije nazvane supernovama.

Vjerojatno najsajnija supernova u pisanoj povijesti opažena je 1. svibnja 1006. godine u zvijezdu Vuka. Za promatrače sa sjeverne polutke, ona se nalazila sasvim nisko na obzoru, pa je prošla gotovo nezapaženo. No arapski astronomi pomno su pratili njezinu pojavu nekoliko godina. U vrijeme najvećeg sjaja dosegla je polovicu blještavila punog Mjeseca, tako da je čak stvarala i sjenu.



Sl. 23.1.a Rendgenski snimak ostataka Tychove supernove iz 1572.

Slijedeća zabilježena supernova pojavila se 48 godina kasnije u zvijezdu Bika. Za razliku od supernove u Vuku, ovu »novu zvijezdu« europski promatrači lako su mogli vidjeti ali i ona je ostala neprimijećena. Izreći tvrdnju da nebeski svod nije postojan i savršen bila je u Srednjem vijeku heretička misao, ako su neki promatrači na našem kontinentu i zabilježili svoja opažanja, ti zapisi su vjerojatno zagubljeni ili uništeni.

Međutim, tadašnji astronomi na Dalekom istoku vjerno su zabilježili pojavu »Zvijezde gosta« u zvijezdu Bika. Ona je bljesnula 4. srpnja 1054. godine i mogla se vidjeti naredna 653 dana. Sa sjajem od -5 zvjezdanih veličina nadjačala je Veneru koja je, osim Sunca i Mjeseca, najsajnije nebesko tijelo. Tijekom prva tri tjedna mogla se na nebu vidjeti i danju.

Posljednja supernova opažena u našoj galaksiji pojavila se u zvijezdu Zmijonosca (Ophiucus) 1604. godine. Ta »nova zvijezda«, približno dvostruko sjajnija od Siriusa, privukla je pozornost Braheovog pomoćnika i nastavljača, Johannes Keplera koji ju je pomno opažao tijekom 356 dana. Upravo je Keplerova supernova pobudila u Galilea zanimanje za astronomiju, tako su prva promatranja slavnoga talijanskog astronoma bila vezana za tu zvijezdu. Samo pet godina kasnije, Galileo je konstruirao svoj prvi teleskop. Nažalost, u to vrijeme supernova više nije bila vidljiva.

Još se jedna supernova morala pojaviti u našoj galaksiji oko 1670. godine, no nitko ju nije vidio; za nju se zna po ostacima plinovite ovojnice nađene u Kasiopeji (sl. 23.1.b), koja je jedan od najsnažnijih izvora radiovalova na našem nebu, poznat kao Cassiopea A. U tablici 23.1. nalazi se popis svih poznatih supernova u našoj galaksiji.

Početak kolovoza 1885. njemački astronom Ernst Hartwig je opazio supernovu u Andromedinoj maglici (S Andromedae). Kada je konačno, dvadesetih godina prošloga stoljeća, utvrđeno da je Andromedina maglica zasebna galaksija, od koje nas dijeli više od dva milijuna svjetlosnih godina, astronomima je postalo jasno da S Andromede ne bi nipošto mogla biti tako sjajna da je bila samo obična nova. Godine 1933. astronomi Walter Baade i Fritz Zwicky predložili su da se S Andromede i slični objekti ubuduće nazivaju supernove.



**Sl. 23.1.b** Cassiopea A: ostatak supernove koja je eksplodirala u 17. stoljeću snimljen u vidljivom, infracrvenom i rendgenskom dijelu spektra.

Kao i u nove, sjaj supernove se iznenada naglo poveća, a zatim se polako smanjuje, iščezavajući s neba. Međutim uzroci njihova nastajanja su posve različiti, osim toga one nastaju iz posve različitih vrsta zvijezda. Supernove se ne javljaju tako često kao nove. U nekim galaksijama u posljednjih 40 godina pojavile su se tri ili čak četiri supernove (u galaksijama NGC 5236 i 6946). U prosjeku se u galaksijama kakva je naša javlja po jedna supernova svakih sto godina, međutim u spomenutim dvjema galaksijama taj interval smanjen je samo na osam godina! U galaksijama izvan naše one se teže uočavaju jer im je prividna zvjezdana veličina mala zbog velike udaljenosti. Ipak, dosad je u svemiru opaženo oko 700 supernova.

### Eksplodija supernove

Supernova je kolosalna eksplozija zvijezde. Za samo nekoliko sati sjaj supernove poraste nekoliko stotina milijuna puta. Zvijezda svijetli gotovo mjesec dana kao deset milijardi sunaca i oslobodi deseterostruko više energije nego što ju je oslobodila u svom dosadašnjem životu. Prema snazi zračenja Sunce i supernova su u takvom odnosu kao mala svjetiljka, koju imaju neki ručni satovi i moć jedne nuklearne elektrane!

Apsolutne zvjezdane veličine supernovih u maksimumu dostižu oko -15, i tada su za sedam magnituda ili 600 puta sjajnije od apsolutne zvjezdane veličine obične

Tablica 23.1. POZNATE SUPERNOVE U NAŠOJ GALAKSIJI

Godina	Zvijezde	Trajanje vidljivosti <sup>1</sup>	Ostatak supernove	Magnituda	Udaljenost u svj. god.	Povijesni zapisi
185.	Kentaur	~ 1 godina	RCW 86 G315.4-2.3	-8	9800	kineski
386.	Strijelac	3 mjeseca	G11.2-0.3	1,5	16 000	kineski
393.	Škorpion	8 mjeseci	?	0	34 000	kineski
1006.	Vuk	3 godine	SNR 1006	-9,5	3500	kineski, japanski, arapski, europski
1054.	Bik	21 mjesec	Crab Nebula	-5	6500	kineski, japanski, arapski, američki domoroci?
1181.	Kasiopeja	6 mjeseci	3C58	0	8800	kineski, japanski
1572.	Kasiopeja	15 mjeseci	Tycho SNR	-4	7500	kineski, korejski, europski
1604.	Zmijonosac	12 mjeseci	Kepler SNR	-3	12 500	kineski, korejski, europski
1670.	Kasiopeja	?	Cas A SNR	Neopažena	11 000	?

<sup>1</sup> Vremensko razdoblje u kojem se supernova mogla vidjeti golim okom.

## Pulsari – neutronske zvijezde

*Neutronska zvijezda ima promjer samo dvadesetak kilometara, a svaki njezin kubični centimetar ima masu od nekoliko stotina milijuna tona. Teorijski predviđene još tridesetih godina prošloga stoljeća, neutronske zvijezde ostale su na rubovima modelskog svijeta sve do šezdesetih godina kada su otkrivene u pojavi pulsara. U tim egzotičnim zvijezdama, nastalima u eksploziji supernova, odvijaju se relativistički procesi koji su za suvremenu astrofiziku velik izazov.*

**K**ad zvijezda potroši svoje nuklearno gorivo, u njoj prevagne gravitacija i ona se počinje urušavati u sebe. U prethodnim poglavljima saznali smo da ako je preostala masa zvijezde manja od 1,4 Sunčeve mase, ona se stabilizira kao bijeli patuljak. Katastrofično urušavanje zaustavlja se zbog osnovnih prirodnih svojstava elektrona. Zvijezda s masom većom od 1,4 Sunčeve u svom urušavanju u sebe neće se zaustaviti na bijelom patuljku. U ovim zvijezdama elektroni na kraju bivaju stisnuti do točke kada se degenerirani unutrašnji tlak ne može više oduprijeti gravitacijskom sažimanju. Tlak u unutrašnjosti zvijezde postaje tako velik da elektroni prodiru u jezgre spajajući se s protonima i stvaraju neutrone. Tako nastaje neutronska zvijezda.

Istoimeno nabijene čestice odbijaju se i na većim udaljenostima, a neutroni se odbijaju tek kada se »dodirnu«, tj. kad im prosječni razmaci postanu usporedivi s vlastitim dimenzijama.

Neutroni mogu zaustaviti daljnje urušavanje ako zvijezda ima masu manju od tri Sunčeve mase, na sličan način kao što su ga u bijelim patuljcima zaustavili elektroni.

Promjer prosječne neutronske zvijezde je 10 – 30 km, a masa veličine Sunčeve mase (sl. 24.1.). Uslijed silnoga tlaka, jedan kubični milimetar materije iz neutronske zvijezde ima masu od oko 100 milijuna tona! Gustoća neutronske zvijezde  $10^{15}$  puta je veća od gustoće vode. Tlak je najveći u središtu zvijezde, a prema površini opada. Na nekoliko centimetara od površine moguće je postojanje atomskih jezgara. U takvim uvjetima njima je energetski najpovoljnije da izgrade kristalnu rešetku. Po nekim proračunima znatan dio površinske materije čini željezo.

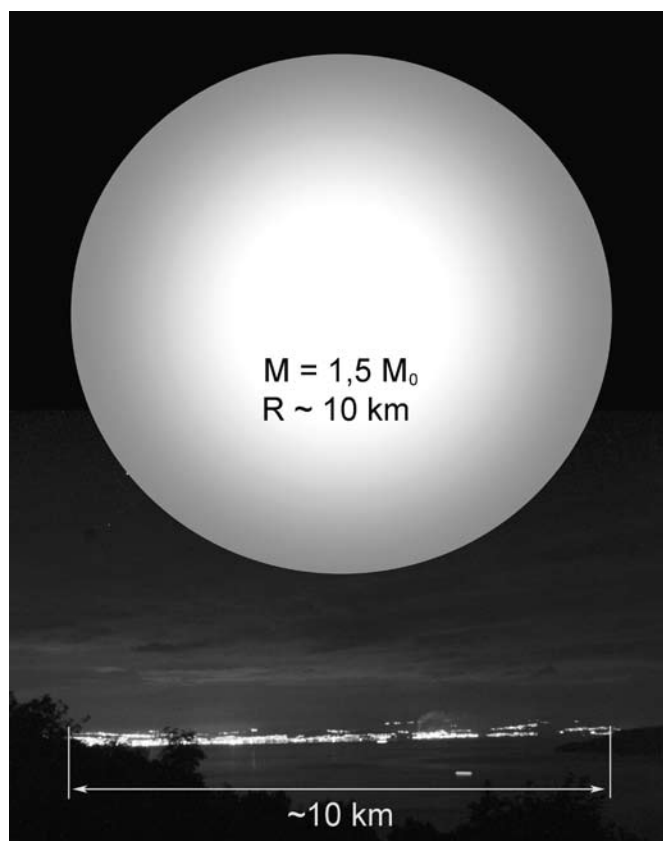
Pri katastrofalnom skupljanju do veličine neutronske objekta, nastojeći zadržati kutnu količinu gibanja, zvijezda uvelike povećava brzinu svoje rotacije. Dok zvijezde Sunčeve veličine imaju periode rotacije između 25 do 30 dana, neutronske zvijezde se oko svoje osi obrnu za sekundu i manje.

Ubrzanje sile teže na površini neutronske zvijezde može doseći  $10^{14}$  cm/s, što je 100 milijardi puta veće od Zemljina ubrzanja. Površina treba biti idealno ravna, pri takvoj gravitaciji najveće »planine« na površini neutron-

ske zvijezde mogu biti visoke svega nekoliko milimetara. Međutim zbog vrlo brze vrtnje javlja se jaka centrifugalna sila uslijed koje zvijezda nema oblik idealne sfere.

Gravitacijsko privlačenje neutronske zvijezde tako je jako da tijelo koje pada na nju treba pretvoriti u energiju i do 50 posto svoje mase mirovanja. Pad prosječno teškog čovjeka na neutronske zvijezde bio bi jednak eksploziji 200 hidrogenskih bombi!

Kako možemo takve hladne, tamne i male zvijezde promatrati? Kako uopće znamo da u stvarnosti postoje? Za obične zvijezde kažemo da zrače kao crna tijela pri određenoj temperaturi. Ako odredimo svjetlosni tok



Sl. 24.1. Usporedba prosječne neutronske zvijezde s obalnom dužinom rijeke.

# Crne rupe

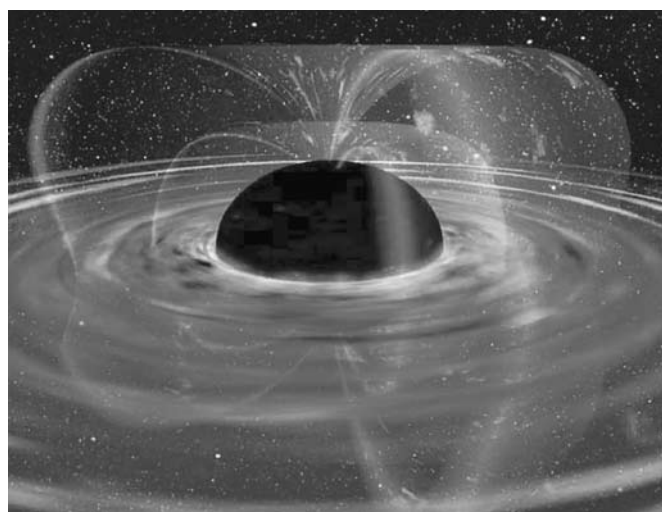
*Zvijezda masivnija od 3,2 Sunčeve mase na kraju svog životnog puta, nakon katastrofalnog sažimanja, pretvori se u crnu rupu – najčudesniji i najneshvatljiviji objekt u poznatom svemiru. U moćnom gravitacijskom polju crne rupe, prostor-vrijeme je potpuno zakrivljen, pa više ne vrijede uobičajena pravila geometrije. Prilačna sila crne rupe toliko je jaka da se ni svjetlost ne može od nje odvojiti. Osim crnih rupa mase ravne mase zvijezda, otkrivene su i supermasivne crne rupe u središtima galaksija.*

**V**eličanstven razvoj astronomije posljednjih desetljeća, koji su obilježila intenzivna svemirska istraživanja, postavljanje teleskopa i drugih astronomskih uređaja u putanju oko Zemlje, aktualizirao je čitav niz pojava za koje se nije znalo ili su bile tek pretpostavke na granici mašte. To su primjerice mlazovi užarenih plinova dugački tisuće svjetlosnih godina, koji relativističkim brzinama istječu iz jezgara tzv. aktivnih galaksija, neutronske zvijezde, gravitacijske leće, kvazari i naravno crne rupe (sl. 25.1.), tajanstveni objekti čije su postojanje još u 18. stoljeću predvidjeli profesor iz Cambridgea John Michell i francuski matematičar i filozof Pierre Simon de Laplace. Oni su neovisno jedan o drugome, proučavajući Newtonovu teoriju gravitacije došli na pomisao o mogućem postojanju »tamnih zvijezda« čija je gravitacija tako jaka da se ništa s njih ne može odvojiti.

Michell je u svojoj studiji objavljenoj 1783. godine ustvrdio da bi zvijezda dovoljno masivna i zgusnuta, imala tako snažno gravitacijsko polje da je ni svjetlost ne bi mogla napustiti. Pretpostavio je kako postoji veliki broj takvih zvijezda, samo mi ih ne vidimo, jer njihova svjetlost ne može doprijeti do nas.

Laplace je godine 1795. došao na sličnu zamisao i izračunao da bi u dovoljno masivnih zvijezda brzina oslobađanja mogla biti veća od brzine svjetlosti, u tom slučaju od površine zvijezde ne bi se mogla odvojiti čak ni svjetlost. Naime, da bi tijelo postalo Zemljinim satelitom, ono mora postignuti brzinu od 7,9 km/s, a da bi se posve odvojilo od Zemlje mora dosegnuti brzinu oslobađanja od 11,2 km/s (tzv. prva i druga kozmička brzina). Brzina oslobađanja s površine Mjeseca iznosi samo 2,4 km/s a sa Sunca 620 km/s. Neko tijelo u svemiru koje bi imalo dovoljno veliku masu u kombinaciji s malim polumjerom, imalo bi brzinu oslobađanja veću od brzine svjetlosti ( $c = 300\,000$  km/s). Budući da ništa ne može putovati brže od svjetlosti, ništa (čak ni svjetlost) ne može se odvojiti od tog tijela, koje onda nazivamo crnom rupom (ili crnom jamom). Sam naziv – crna rupa novijeg je datuma, osmislio ga je američki fizičar John Archibald Wheeler, 1967. godine i odmah je postao općeprihvaćen.

Za kuglaste objekte, graničnu vrijednost njihova polumjera –  $R_s$ , gdje pri manjim polumjerima više ni svjetlost



**Sl. 25.1.** Crna rupa: prikazan je akrecijski disk i strujanje čestica duž magnetskog polja.

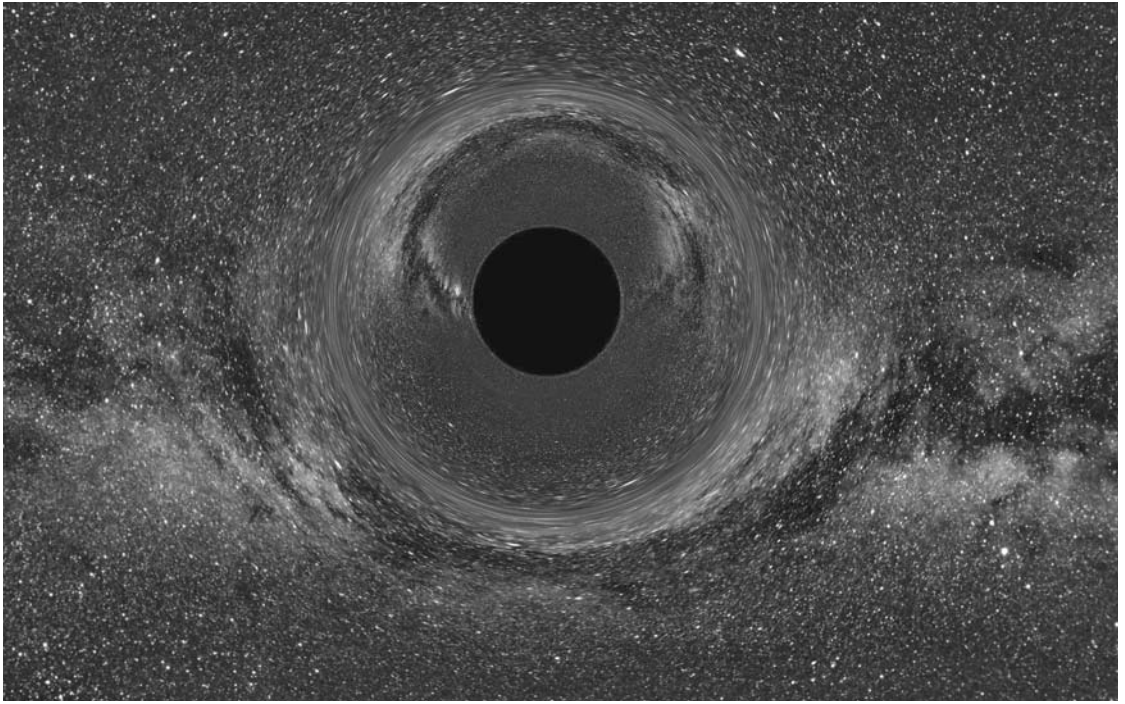
ne može napustiti zvijezdu, možemo odrediti iz relacije:  $R_s = 2GM/c^2$ , ovdje je  $c$  brzina svjetlosti,  $G$  gravitacijska konstanta i  $M$  masa objekta. Pretpostavimo da Zemlju smanjimo do kritičnog polumjera koji bi udovoljio kriteriju crne rupe, njezin polumjer bio bi jedva osam milimetara! Sunce bi trebalo smanjiti za 250 000 puta kako bi poprimilo promjer od 2,95 km.

Danas znamo da objekti velike mase zbog vrlo jakoga gravitacijskog polja zakrivljuju prostor i vrijeme, pa u takvim uvjetima više ne vrijede uobičajena pravila klasične Newtonove mehanike. Stoga ćemo u nastavku o crnim rupama raspravljati u okvirima Einsteinove opće teorije relativnosti. Einsteinova teorija opisuje građu prostora i vremena. Vrijeme u području crne rupe teče drukčije nego što ga bilježi udaljeni promatrač.

## Kako nastaju crne rupe?

Crne rupe su jedan od mogućih posljednjih stadija evolucije zvijezde tj. jedan od načina kako ona završava svoj život. Kad se izvori energije iscrpe, u zvijezdi prevagne gravitacija i ona se ovisno o početnoj masi uruši u bijelog

Sl. 25.2. Ovako bi izgledala crna rupa od 10 Sunčevih masa kada bi je promatrali u smjeru Mliječne staze s udaljenosti 600 km (računalna simulacija).



patuljka ili neutronska zvijezdu što smo opisali u 21. i 24. poglavlju.

Premda neutroni u neutronske zvijezde mogu izdržati masu iznad Chandrasekharove granice, ni nuklearna sila nije beskonačno snažna. Masa veća od 3,2 Sunčeve mase, uspije probiti najjači otpor koji može pružiti materija i više ne postoji ništa što bi urušavanje moglo zaustaviti. Tako nastaju crne rupe, najčudesniji i najneshvatljiviji objekti u poznatom svemiru. Proračuni pokazuju da se »samo« dva posto zvijezda na kraju života pretvori u crne rupe.

Pojam crne rupe razvio je njemački astronom i fizičar Karl Schwarzschild. Služeći se Einsteinovim jednadžbama, on je utvrdio kako mogu postojati takva svemirska tijela koje vlastita gravitacija uruši, stegne do najmanje veličine – matematički rečeno, do beskonačno male točke, tj. do singularnosti.

U moćnom gravitacijskom polju crne rupe prostor-vrijeme je potpuno zakrivljen, pa nikakvo energetsko zračenje ne može prodrijeti u vanjski svijet. To vrijedi jednako za radiovalove, svjetlost, ultraljubičasto, gama-zračenje i rendgensko zračenje, kao i za bilo kakvu električki nabijenu ili nenabijenu česticu.

Ako promatramo neku crnu rupu, onda će svjetlost drugih zvijezda koja prolazi pokraj nje, biti zakrivljena za neku veličinu koja ovisi o tome koliko blizu crne rupe ta svjetlost prolazi (sl. 25.2.). Pojedine zrake bit će samo malo skrenute, neke će se praktično zaokrenuti i vratiti. Dio svjetlosti ući će u nestabilnu putanju oko crne rupe, a dio koji pada direktno na nju nikada više neće moći natrag.

Ono što se događa u procesu urušavanja najjednostavnije ćemo opisati tako što zamislimo nekog promatrača na površini zvijezde koja se počela urušavati. U vrijeme kada je gravitacijsko polje relativno slabije, dio svjetlosti može napustiti zvijezdu. Pretpostavimo, da naš promatrač šalje svjetlost nekim vrlo jakim reflektorom. Kada je snop svjetlosti usmjeren vertikalno tada će ta svjetlost napustiti zvijezdu točno u tom smjeru. Ako se izvor svjetlosti nagne

pod malim kutom u odnosu na smjer promatračeva zenita, svjetlosni zraci će i u tom slučaju napustiti zvijezdu, ali će biti malo zakrivljeni. Pod većim kutovima svjetlost će biti toliko zakrivljenija da će se vratiti na zvijezdu. Kako se zvijezda nastavlja urušavati, konus kroz koji svjetlost još može otići s gravitacijskog polja bit će sve uži i u jednom trenutku nikakva svjetlost neće moći van. Tada kažemo da je naš promatrač prešao tzv. horizont događaja, koji se definira kao površina koju tijelo može napustiti jedino brzinom svjetlosti. Sve što je unutar te granice, u potpunosti je odvojeno od nas, jer bi se u naš svemir moglo vratiti jedino nadsvjetlosnom brzinom.

Zakoni suvremene fizike doživljavaju u crnoj rupi potpuni slom, kao i sve što u nju padne. Prema njima, sva materija u crnoj rupi nastavit će se pod djelovanjem gravitacije skupljati i to samoproždiranje zaustaviti će se tek kada se njezin sadržaj skupi u beskonačno malu točku u singularnosti. Njezina pojava u teoriji koja objašnjava neku prirodnu pojavu označava poraz teorije u toj oblasti. U toj točki je beskonačan tlak, gustoća i zakrivljenost prostor-vremena. To je središte crne rupe. Sam pojam singularnosti nije precizno određen, odnosno vrlo je težak za objašnjavanje, jer on pomalo proturječi zdravom razumu. Može se postaviti analogija s matematičkom singularnošću. Ona se nalazi u točki u kojoj se funkcija ne može definirati. Primjerice jednadžba  $y = 1/x$  ima singularnost za vrijednost  $x = 0$ , odnosno u točki  $x = 0$  funkcija nije određena. Nema racionalnog rješenja. Ono ide u plus-beskonačnost i minus-beskonačnost, pa čak ako bi se funkcija odredila u beskraj, ne zna se kakav bi bio njezin stupanj promjene.

Ni vrijeme se u singularnosti ne može definirati. Zakrivljenost prostor-vremena ovisi o masi. Ako bi se svemir nalazio u jako malim dimenzijama, zakrivljenost prostora bi bila golema, a ako bi se našao u jednoj točki, singularnosti, gustoća mase bi bila beskrajna, tako da se jednadžbe vremena i prostora više ne bi mogle primijeniti.

# Planeti drugih zvijezda

*Planete u sustavima drugih zvijezda teško je otkriti jer su nekoliko milijardi puta slabiji od sjaja roditeljske zvijezde. Većina dosad opaženih planeta otprilike su veličine Jupitera, neki od njih nalaze se bliže zvijezdi nego što je Merkur udaljen od Sunca. Svemirskim teleskopima nove generacije moći ćemo opaziti svjetlost planeta veličine Zemlje i spektralnom analizom ustanoviti sastav njihovih atmosfera.*

**J**oš od antičkih vremena u ljudskoj je svijesti prisutno pitanje postoji li negdje drugdje u svemiru poneki svijet poput našeg, imaju li i druge zvijezde svoje planete. Dok su se mnogi starogrčki mislioci bavili proučavanjem ustrojstva Sunčevog sustava, vjerujući da je jedinstven u svemiru, drugi poput Leukipa, Demokrita ili Epikura razmišljali su o mogućnosti postojanja bezbroj svjetova, beskrajno različitih u svojoj posebnosti.

Tako je grčki atomist Epikur napisao: »Postoji bezbroj svjetova sličnih našem i različitih od našeg. Kao što su atomi bezbrojni, nema nikakve prepreke da postoji i bezbroj svjetova«. Nažalost, takva razmišljanja, bila su daleko ispred svog vremena. Filozof Aristotel, najveći znanstveni autoritet starog doba, vjerovao je u geocentrični sustav i tvrdio da ne može postojati više svjetova od jednog, ovog našeg. Aristotelov pogled na svijet prevladavao je narednih 2000 godina. Do ponovnog oživljavanja znanosti došlo je u 16. stoljeću s heliocentričnim sustavom Nikole Kopernika. No, dok Kopernik svoj nauk ograničava na planetarni sustav našeg Sunca, pedesetak godina kasnije, talijanski filozof i dominikanac Giordano Bruno proširuje ga na cijeli svemir koji je beskonačno velik. On tvrdi da su zvijezde sunca koja imaju svoje planete nastanjene živim bićima, baš kao i naša Zemlja. U svom djelu *De l'infinito universo e mondi* objavljenom 1584. godine je napisao: »Postoji bezbroj sunaca i bezbroj zemalja koje kruže oko njih na isti način kao što to čini sedam planeta našeg sustava. Mi vidimo samo sunca zato što su veća tijela i sjajnija, dok njihovi planeti ostaju nevidljivi zbog njihove male veličine i slaba sjaja. Bezbrojni svjetovi u svemiru nisu ništa lošiji i slabije nastanjeniji nego li naša Zemlja«. Brunove zamisli nisu prihvaćene, naprotiv zbog sukoba s katoličkim naukom, u nezgodno doba papinske inkvizicije biva osuđen na smrt i kao heretik 1600. godine javno spaljen na Rimskom trgu Campo di Fori.

Godine 1609. slavni talijanski matematičar, fizičar i astronom Galileo Galilei je okrenuo svoj teleskop u nebo i njime otkrio kratere na Mjesecu, četiri Jupiterova mjeseca, te zvijezde Mliječne staze. Iako je i Galilei imao problema sa Crkvom, mnogo je učinio na rušenju drevnih antičkih fizikalnih teorija i pokazao čovjekovo pravo mjesto u svemiru. Njegova su otkrića oslobodila um narednih

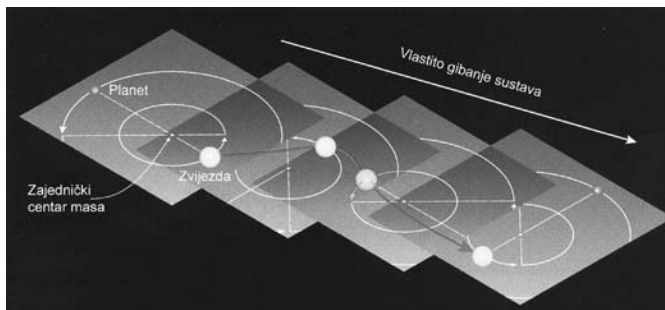
naraštaja znanstvenika i filozofa. Razumijevanjem ustroja Sunčeva sustava, nastanka i razvoja zvijezda i planeta, postalo je jasno da bi i druge zvijezde poput Sunca trebale imati planete. Štoviše, astronomi su utvrdili da je postanak planeta prirodan korak u oblikovanju i razvoju njihovih roditeljskih zvijezda.

## Potruga za drugim svjetovima

U usporedbi sa zvijezdama oko kojih kruže, planeti su vrlo slaba sjaja tako da ih je vrlo teško otkriti izravno. Primjerice ako bi željeli snimiti Jupiter s udaljenosti 15 svjetlosnih godina u vidljivom dijelu spektra, njegov sjaj bio bi oko deset milijardi puta slabiji od Sunčeva. Nešto povoljniji odnos je u infracrvenom i radijskom dijelu elektromagnetskog spektra, nažalost moć razlučivanja kod većih valnih duljina znatno je slabija.

Osim što su slaba sjaja, pri velikim udaljenostima na kojima se zvijezde nalaze, planeti su prividno jako blizu matičnih zvijezda čiji sjaj zasjeni slabašni sjaj planeta. Neposredna opažanja izvansolarnih planeta može ometati i raspršenje svjetlosti na međuplanetskoj prašini kakve ima i u Sunčevom sustavu. Unatoč spomenutim teškoćama, nekoliko je zemaljskih teleskopa dovoljno moćnih da bi osim planetarnih sustava u nastajanju mogli opaziti i divovske mlade izvansolarne planete velikog sjaja, udaljene nekoliko desetaka astronomskih jedinica od svojih zvijezda. Izvansolarne planete Zemljine veličine bit će moguće neposredno opažati svemirskim teleskopima druge generacije koji bi mogli poletjeti u slijedećem desetljeću. U međuvremenu prednost imaju posredne metode traganja kojima postojanje planeta otkrivamo na osnovi njegova utjecaja na roditeljsku zvijezdu.

Poznato je da planet kruži oko zvijezde zarobljen njezinim gravitacijskim poljem, međutim i zvijezda pod gravitacijskim utjecajem planeta obilazi oko zajedničkog središta masa, stoga vlastito gibanje zvijezde kroz međuzvjezdani prostor neće biti pravocrtno već će imati mala periodična odstupanja. Ako promjene položaja vidljive komponente pratimo više godina ili desetljeća, možemo opaziti da ona na nebu opisuje kružnu putanju.



Sl. 28.1. Zvijezda i planet kruže oko zajedničkog središta masa, posljedica toga je »valovito« vlastito gibanje zvijezde koje pokazuje da ona ima nevidljivog pratitelja.

Kakve će biti kutne dimenzije toga gibanja (sl. 28.1.) ovisit će o veličini mase planeta i o tome koliko je od nas udaljen planetni sustav.

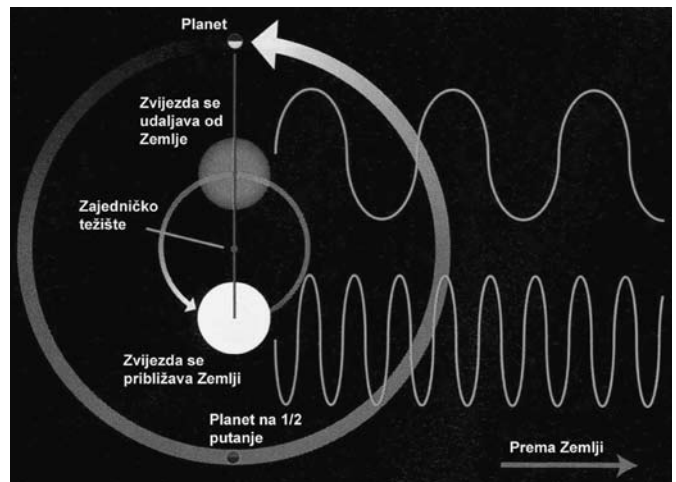
Primjerice, ako bismo u mislima iz Sunčeva sustava izdvojili sve planete osim Jupitera, u tom slučaju zajedničko središte masa sustava Sunce - Jupiter nalazilo bi se malo iznad Sunčeve fotosfere na crti koja povezuje ta dva tijela. Promatrač koji bi promatrao taj sustav s udaljenosti nekih desetak svjetlosnih godina, zapazio bi da Sunce na nebu opisuje krug promjera jedne kutne milisekunde. Ali kad bi u Sunčevu sustavu bila samo Zemlja, to gibanje bi bilo veličine 0,6 kutnih mikrosekundi, što je manje od kutnog promjera atoma vodika gledanog s udaljenosti od jednog metra! Unatoč tako malim pomacima, napredak u tehnologiji je takav da bi ih svemirski teleskopi nove generacije mogli izmjeriti. Prednost ove metode je što ona omogućuje određivanje mase planeta.

Astrometrijskom metodom još nije otkriven nijedan planet, ali je ona poslužila u pronalaženju dvostrukih sustava zvijezda čija se jedna komponenta ne može neposredno vidjeti.

Tako je ovom metodom u 19. stoljeću njemački matematičar i astronom Friedrich Bessel otkrio da zvijezda Sirius ima nevidljivog pratioca - Siriusa B (bijelog patuljka) čije je postojanje potom i opažajući potvrđeno. Godine 1964. je američki astronom Peter van de Kamp izjavio da je u stazi oko Barnardove zvijezde, jedne od najbližih Suncu, otkrio planet mase 1,6 puta veće od mase Jupitera. Potom je 1975. godine objavio rad o tome kako Barnardova zvijezda ima ne jednog već dva planeta mase 0,7 i 0,5 Jupiterove. Međutim, postojanje tih planeta ni do danas se nije uspjelo dokazati. Ponovne analize istih fotografskih ploča koje je koristio Kamp pokazale su da je opaženo kolebanje u putanji Barnardove zvijezde posljedica grešaka teleskopa. Ipak, povijesno gledano, bila je to prva potraga za izvansolarnim planetima.

## Zvijezde plešu

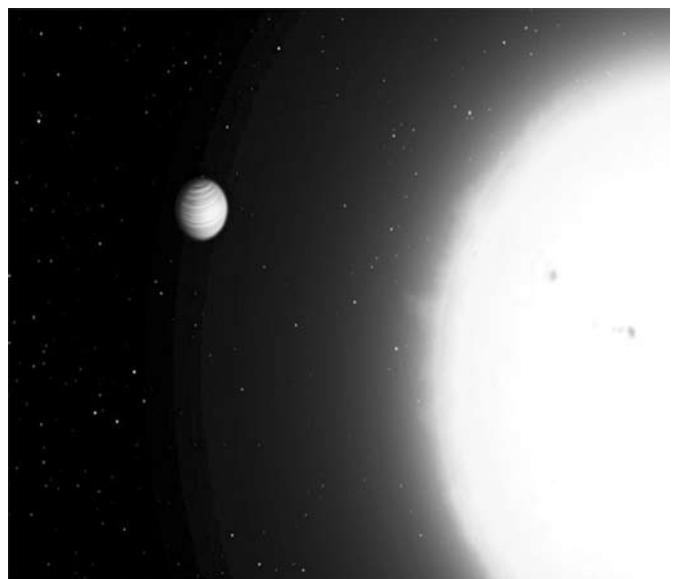
Druga posredna metoda traganja za planetima temelji se na mjerenju pomaka linija u spektru zvijezde, pritom se nastoje otkriti oni pomaci koji su uzrokovani kretanjem zvijezde oko zajedničkog središta masa (promjene radijalnih brzina). Kada nam se na svojoj putanji zvijezda



Sl. 28.2. Gibajući se oko zajedničkog težišta, u odnosu na motritelja zvijezda se periodički giba naprijed i nazad, što uzrokuje Dopplerove pomake spektralnih linija. Preciznim spektrometrom moguće je izmjeriti te vrlo male pomake i tako otkriti nevidljivog pratitelja.

približava spektralne linije se uslijed Dopplerovog efekta pomiču prema ljubičastom dijelu spektra, a kada se od nas udaljava pomak je prema crvenom dijelu spektra (sl. 28.2.).

Ako ponovno uzmemo kao primjer sustav Sunce - Jupiter, u ovom slučaju promjene brzine Sunca uzrokovane kretanjem oko zajedničkog središta masa iznose samo 13 m/s. Tako male pomake spektralnih linija potpuno izbrišu Dopplerovi pomaci koji nastaju uslijed gibanja vrućih plinova u zvjezdanoj atmosferi. Astronomi su te probleme riješili uporabom složenih računalskih programa koji u spektru zvijezde traže ponavljajuće signale nazočnosti planeta. Metodom radijalnih brzina otkriven je prvi izvansolarni planet u stazi oko zvijezde slične našem Suncu. Ovo povijesno otkriće ostvarili su, švicarski



Sl. 28.3. Divovski planet oko 51 Pegasi kruži na daljini osam puta manjoj od udaljenosti Merkur - Sunce.

# Galaksija Mliječna staza

*Naša zavičajna galaksija Mliječna staza (Mliječni put) obitelj je od više stotina milijardi zvijezda skupljenih u golemi disk sa spiralnim krakovima, koji, s obzirom na to što se nalazimo unutar njega, na tamnom noćnom nebu vidimo kao magličasti trag blijede svjetlosti. Sunce se smjestilo gotovo točno u ravnini diska, na udaljenosti 25 000 svjetlosnih godina od galaktičkog središta koje se prividno nalazi u smjeru zvijezda Strijelac. U srcu Mliječne staze leži vrlo jak izvor energije koji bi mogao biti divovska crna rupa od oko tri milijuna Sunčevih masa.*

U tamnoj noći bez mjesečine, daleko od svjetala gradova, na nebu možemo opaziti koprenasti trag svjetlosti nepravilna oblika koja se proteže s jednog njegova kraja na drugi. Od pamtivijeka intrigirajući znatiželjnike, ovo slabašno svjetlo razliveno po nebu nije dopuštalo da se pronikne u njegovu tajnu. Prema grčkoj legendi, iz grudi božice Juno šiknuo je mlaz mlijeka dok je dojila Herkula. Mlaz se rasuo po cijelom nebu ostavivši trag – Mliječnu stazu. Maje su ga zvale Duginim Bratom, stari Germani Puteminja i leda, a u našem narodu nazvana je Mliječna staza (Mliječni put) i Kumova slama.

Jedan od prvih zabilježenih opisa Mliječne staze dao je Klaudije Ptolemej iz Aleksandrije, posljednji veliki astronom i matematičar antičkog doba. Opisao ju je kao pojas bijel kao mlijeko, odakle mu i ime, ali pojas nepravilna oblika, negdje širi a negdje uži. Na nekim mjestima se grana, a ako ga promatramo malo pozornije vidjet ćemo da se mijenja i po sjaju i po boji. Svaki narod ima svoju legendu o Mliječnoj stazi, ali njezina stvarna priroda dugo vremena bila je bez pravog objašnjenja.

Prvo pravo tumačenje dao je u XVI. stoljeću čuveni Galileo Galilei. On je usmjerivši svoj mali astronomski dalekozor u nebo, u ovoj tisućama godina zagonetnoj ljepotici noći razaznao nebrojno mnoštvo blijedih zvijezda, različita sjaja i boja, posve nalik onima što ih i samim golim okom možemo vidjeti na noćnom nebu. U tom trenutku postalo je jasno da je nebo mnogo veće no što je itko ikad i pomislio. Najbogatija zvjezdana prostranstva leže na južnoj strani Mliječne staze i ona su prekrasan prizor u Južnoj Americi, južnoj Africi, Australiji i Novom Zelandu. Za sjeverne promatrače Mliječna staza je najljepša ljeti i u jesen, kad se predvečer zvijezde Labud nađe visoko nad nama (sl. 29.1.).

U naše vrijeme znamo da sve te zvijezde, kojima pripada i Sunce, čine golemi zvjezdani grad – našu galaksiju, koju pišemo i kao vlastito ime – Galaksija. U toj nakupini nepreglednog mnoštva zvijezda i međuzvjezdanog materijala, naše je Sunce tek sićušna točkica u moru od više stotina milijardi drugih zvijezda. Riječ galaksija dolazi od starih Grka, od njihove riječi za mlijeko – galactos.

»Mliječna staza« istovremeno je naziv za magličasti trag svjetlosti koji vidimo na noćnom nebu ali i naziv za našu matičnu galaksiju.

## Oblik i veličina Mliječne staze

Naše razumijevanje Mliječne staze kao zvjezdanog sustava seže u 18. stoljeće kada su Thomas Wright, engleski astronom i Immanuel Kant, slavni njemački filozof, nezavisno jedan o drugome došli do zaključka da je Mliječna staza veliki spljošteni skup zvijezda. S obzirom da su područja neba bliža Mliječnoj stazi brojnija zvijezdama, veća je vjerojatnost da naš zvjezdani skup ima oblik diska nego da je sferična nakupina zvijezda.

Nedoumice su razriješene kada je krajem 18. stoljeća William Herschel, sustavnim pretraživanjem neba i pažljivim brojanjem vidljivih zvijezda u vidnom polju teleskopa usmjeravanog u različitim smjerovima, došao do zaključka da naša galaksija ima oblik neke vrste elipsoida. Veliki krug nebeske sfere koji prolazi kroz središnje dijelove Mliječne staze zapravo je presjek ekvatorijalne ravnine našeg zvjezdanog sustava s nebeskom sferom. Sunce se nalazi u blizini galaktičkog ekvatora i zato, kada promatramo nebo u tom smjeru, vidimo više zvijezda nego kada promatramo nebo paralelno s osi naše galaksije.

Budući da međuzvjezdana ekstinkcija, uzrokovana oblacima plina i prašine, uvelike ograničava optičku vidljivost duž galaktičkog diska, pri čemu ona u svim smjerovima doseže do gotovo jednakih udaljenosti, Herschel pogrešno zaključuje kako se Sunce nalazi u središnjem dijelu Mliječne staze. Osim toga on nije znao izmjeriti udaljenosti zvijezda (prvo mjerenje udaljenosti zvijezda metodom paralakse izvršio je F. W. Bessel 1838. godine) pa nije mogao odrediti veličinu Mliječne staze.

Veličinu Mliječne staze prvi pokušavaju početkom prošloga stoljeća odrediti nizozemski astronom Jacobus C. Kapteyn i američki astronom Harlow Shapley. Kapteyn je našao kako je Mliječna staza diskolik zvjezdani sustav



Sl. 29.1. Nebeski svod sa Mliječnom stazom.

promjera od oko 20 000 parseka te da se Sunce nalazi blizu njegovog središta.

Gotovo istovremeno nakon što je Kapteyn objavio svoj model Mliječne staze, Shapley objavljuje model koji se uvelike razlikuje od njegovog. Shapley uvjerava kako je Mliječna staza znatno veća od onoga kakvu je opisuje Kapteyn. Polumjer galaktičkog diska procjenjuje na 100 000 parseka, te kaže da se Sunce ne nalazi blizu središta, nego na oko dvije trećine puta od središta prema rubu diska. Shapley je došao do tog zaključka proučavajući raspodjelu kuglastih skupova – tijesnih nakupina od milijun i više zvijezda. Budući da skupovi sadržavaju mnogo zvijezda, oni imaju veliki luminozitet pa su vidljivi s vrlo velikih udaljenosti. Njihovu udaljenost, a time i stvarni položaj u Mliječnoj stazi, odredio je na osnovi mjerenja prividnog sjaja, u njima prisutnih, vrlo sjajnih promjenljivih zvijezda tipa RR Lyrae koje poput cefeida mogu poslužiti za određivanje udaljenosti. Shapley zaključuje kako kuglasti skupovi nisu razmješteni nepravilno po nebu, već ih se većina smješta prema središtu galaksije koje se prividno nalazi u smjeru zvijezda Strijelaca. Kad bi se Sunce nalazilo u središtu Galaksije, piše Shapley, svi kuglasti skupovi bili bi jako pomaknuti u stranu od središta. Logično je pretpostaviti da se sa središtem Galaksije poklapa centar sveukupnosti kuglastih skupova, stoga proizlazi da se Sunce ne nalazi u središtu našega zvjezdanog sustava. To otkriće zadalo je silan udarac antropocentrizmu koji je stvarao uvjerenje o tome kako čovjek ima posebno, središnje mjesto u svemiru.

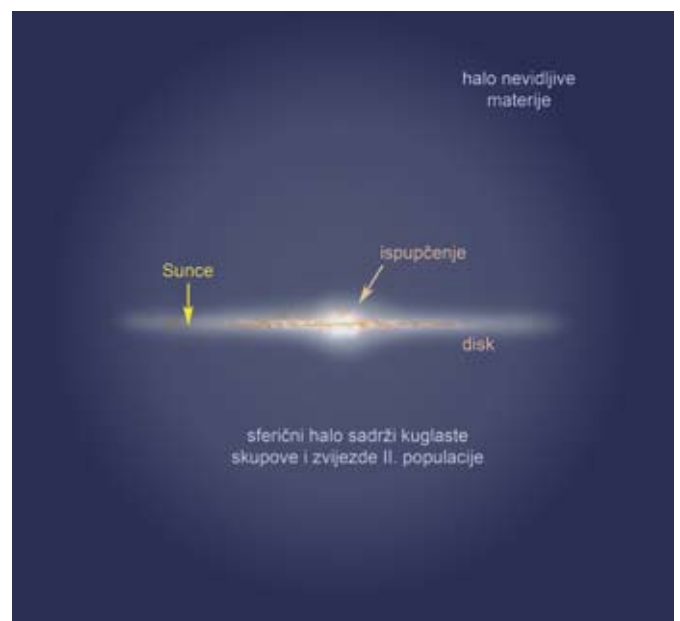
Kapteyn je podcijenio veličinu Mliječne staze jer u svojim izračunima nije uzeo u obzir međuzvjezdanu ekstinkciju. S druge strane, Shapley je ispravno zaključio da Sunce nije blizu centra, ali je uvelike precijenio polumjer Mliječne staze, našavši vrijednost koja je oko tri puta veća od danas prihvaćene. Dijelom je tome razlog to što

ni on, kao ni Kapteyn, nije poznao apsorpcijski učinak međuzvjezdane prašine. Slijedećih godina astronomi su ispravljali i poboljšavali Shapleyev model Mliječne staze. No njezina stvarna veličina i struktura bile su nepoznate sve do istraživanja Edwina Hubblea, koji je dvadesetih godina prošloga stoljeća otkrio da su spiralne maglice kao što je Andromeda (M 31), samostalni sustavi zvijezda, slični našoj galaksiji. Opažene su mnoge druge galaksije koje imaju spljoštene diskove s uočljivim spiralnim kracima. Istraživanje spiralne strukture Mliječne staze vrlo je otežano zbog toga što se nalazimo unutar sustava kojeg istražujemo. Međutim, rezultati istraživanja naše galaksije i drugih sličnih galaksija, obostrano se nadopunjuju i obogaćuju pa danas astronomi imaju prilično dobru sliku kako Mliječna staza zapravo izgleda, kojeg je oblika, koje veličine te kakav je u njoj raspored pojedinih poznatih objekata.

## Struktura naše galaksije

Unatoč širokom rasponu vrsta zvijezda, zvjezdanih skupova (otvorenih i kuglastih) i maglica, svi su se zvjezdani stanovnici naše galaksije dobro smjestili u tri osnovne nama poznate populacije koje razlikujemo po starosti, kemijskom sastavu, položaju i orbitalnom gibanju u Galaksiji.

Počnemo li izvana, nalazimo sfernu komponentu, njoj pripadaju halo, koji u svom polumjeru mjeri više od 300 tisuća svjetlosnih godina i ispupčenje galaktičke jezgre (sl. 29.2.). U galaktičkom halou opažaju se starije zvijezde i kuglasti zvjezdani skupovi s relativno velikom gustoćom broja zvijezda, a plina i prašine u njemu gotovo i nema. Mlade sjajne zvijezde su tamo davno izumrle, tako da dominiraju hladne zvijezde koje su sišle s glavnog niza



Sl. 29.2. Mliječna staza gledana sa strane. Čitava galaksija je okružena haloom sazdanim od kuglastih skupova i izdvojenih zvijezda.

# Galaksije u svemiru

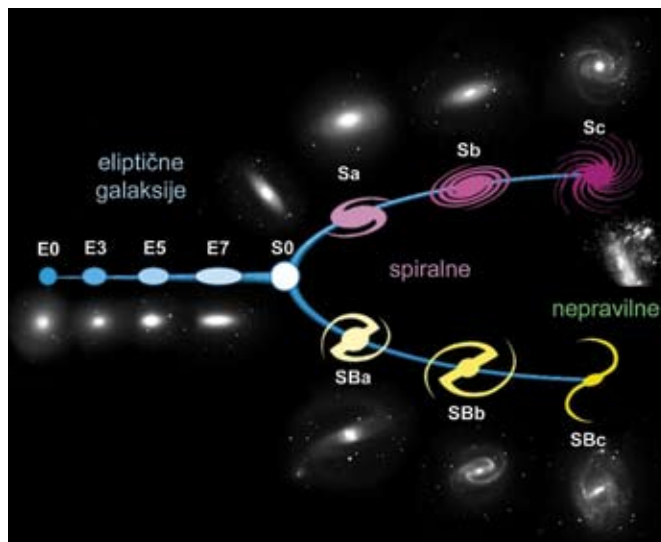
*Nekoć smatrane samo zvezdanim otocima u svemiru, galaksije su za suvremene znanstvenike postale goleme nakupine zvijezda, plina i prašine u neprestanom gibanju, koje na okupu održava njihova gravitacija. Galaksije se međusobno razlikuju oblikom, veličinom, masom i snagom emisije. Neke od njih su jajolike nakupine starih zvijezda, dok su druge lijepe spirale s krakovima punim mladih zvijezda, svjetlećih maglica, plina i prašine. U središnjim područjima nekih galaksija, odvijaju se procesi pri kojima nastaju goleme količine energije. Te tzv. aktivne galaksije pokreću divovske crne rupe u njihovu središtu.*

**N**aša je Mliječna staza samo jedna od mnogih galaksija u svemiru – do te su spoznaje astronomi došli početkom dvadesetih godina prošloga stoljeća. Još je u 18. stoljeću William Herschel, promatrajući nebo velikim teleskopima koje je sam izrađivao, otkrio i upisao u kataloge više tisuća magličastih objekata za koje se u to vrijeme smatralo da su razni stadiji u procesu svoga skupljanja u zvijezde. Godine 1845. irski astronom William Parsons, Lord Rosse, svojim poznatim teleskopom Leviathanom od 1,8 metara, opaža spiralni ustroj nekih maglica.

Thomas Wright i Immanuel Kant prvi su pomislili da bi spiralne maglice mogle biti zvezdani sustavi slični našoj galaksiji. Međutim, konačna znanstvena potvrda toga dolazi istom 1923. godine. Naime, tada je američki astronom Edwin Hubble s opservatorija Mount Wilson snimio prve fotografije Andromedine maglice (M 31) na kojima je bilo vidljivo da se ta slabašna mrlja svjetlosti sastoji iz mnoštva pojedinačnih zvijezda. Među njima je uočio i klasične cefeide – promjenljive (pulsirajuće) zvijezde dobro poznate od prije iz naše galaksije. Odredivši periode promjene sjaja i njihovu vizualnu veličinu, Hubble je izračunao da je M 31 udaljena od nas 930 000 svjetlosnih godina, što znači da se nalazi daleko izvan Mliječne staze. Poznavajući udaljenost i kutnu veličinu maglice, odredio joj je i stvarnu veličinu; pa se tako pokazalo da je spiralna maglica u Andromedi golem zvezdani sustav nalik na našu galaksiju. Prema najnovijim mjerenjima Andromedina galaksija (M 31) udaljena je od nas 2,93 milijuna svjetlosnih godina. Galaksija Andromeda vidi se i golim okom. Ona je najudaljeniji objekt vidljiv bez teleskopa. Bezbrojne galaksije su mnogo slabijeg sjaja, što znači da su još udaljenije. Nakon Hubbleova otkrića veličina poznatog svemira nadmašila je i najsmjelija očekivanja.

## Vrste galaksija

Prvi sustav razvrstavanja galaksija predložio je Hubble 1926. godine, a taj se sustav, uz neke izmjene, održao



Sl. 30.1. Morfološka klasifikacija galaksija prikazana je onime što astronomi zovu Hubbleovom vilicom.

do danas. Hubbleov sustav razvrstavanja obuhvaća osnovne morfološke tipove galaksija: eliptične E (eng. Ellipse – elipsa), spiralne S (eng. Spiral – spirala), spiralne s prečkom SB (eng. Bar – prečka) i nepravilne Irr (eng. Irregular – nepravilno). Hubbleova klasifikacija kasnije je dopunjena lentikularnim galaksijama (SO i SBO), koje su prijelaz od eliptičnih prema spiralnim galaksijama. Te se glavne skupine potom dijele i dalje.

Niz oblika prikazan Hubbleovom vilicom (sl. 30.1.) isprva se tumačio kao evolucijski put, no taj je pristup napušten kada su se bolje upoznala fizička svojstva galaksija. Naime, nekad se vjerovalo da se galaksije razvijaju od eliptičnih prema spiralnim, međutim kasnije se uvidjelo da je oblik galaksije posljedica načina sažimanja još u stadiju protogalaksije. Spiralne su galaksije približno jednakih veličina, dok se eliptične galaksije veličinom mogu uvelike razlikovati. U bližem dijelu svemira do udaljenosti 10 Mpc spiralnih galaksija ima 34, eliptičnih 13, a nepravilnih više od 50 posto.



**Sl. 30.3.** Lentikularna galaksija NGC 5866 u zviježđu Zmaja. Na pozadini zvijezda vidi se tamni pojas prašine.

lenticularnih. Lijep primjer te vrste galaksija je NGC 5866 u zviježđu Zmaja (sl. 30.3.).

### Galaksije nalik na našu – spiralne galaksije

Po vanjskom obliku spiralne galaksije (označavamo ih slovom S) su nesumnjivo najživopisniji objekti u svemiru jer im izgled u velikoj mjeri odaje utisak kretanja (sl. 30.4.a i 30.4.b). Te se galaksije nalaze u slabo nastanjenim područjima svemira, gdje njihov oblik nije ugrožen plimnim silama okolnih galaksija.

Većina spiralnih galaksija je spljoštena u obliku diska iz čijeg se središnjeg eliptičnog zadebljanja, sastavljenog od starih zvijezda, odvajaju više ili manje zavijeni spiralni krakovi. Krakovi su puni mladih zvijezda, svijetlih maglica, plina i prašine. Obično se ističu dva kraka koja izviru iz suprotnih krajeva jezgre, no ima i spiralnih galaksija s većim brojem krakova.

S obzirom na uvijenost krakova i veličinu središnjeg dijela, spiralne galaksije razvrstane su u tri podskupine koje se označavaju dodatnim slovima a, b, c ili d. Galaksije tipa Sa imaju veliko središnje ispupčenje (do 50 posto



**Sl. 30.4.a** Galaksija NGC 4414 ima rastresite spiralne krakove i malo središnje zadebljanje. Udaljena je od nas 60 milijuna godina svjetlosti.

# Veliki prasak

*Prema teoriji Velikog praska, koju je većina prihvatila, čitav je svemir na početku bio sabijen u jednoj točki beskonačne gustoće. Prije otprilike 13,7 milijardi godina ta se jedinstvena točka počela širiti. Iz nje je osim mase i energije, nastao prostor ali i sve nam poznate sile, pa i samo vrijeme. Postupno se vruća energetska kupelj hladila, čestice su se spojile u atome, dok se napokon iz plazme nisu oblikovale galaksije, zvijezde, planeti, te naposljetku i život.*

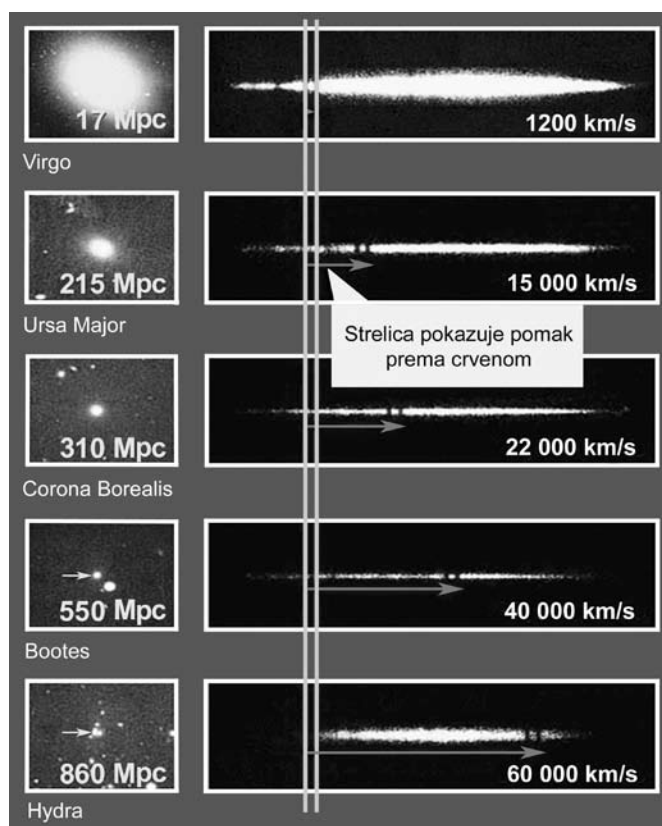
Pogledamo li duboko u svemir primijetiti ćemo da se daleki skupovi galaksija udaljavaju od nas. Zapravo, udaljenost između velikih skupova postupno se povećava i stoga svemir stalno raste. Ta činjenica, koju je još 1929. godine utvrdio američki astronom Edwin Hubble, jedno je od najvećih otkrića moderne astronomije.

Thomas Wright i Immanuel Kant prvi su pomislili da bi spiralne maglice mogle biti zvjezdani sustavi slični našoj galaksiji. Međutim, konačna znanstvena potvrda toga dolazi istom 1923. godine. Naime, tada je američki astronom Edwin Hubble s opservatorija Mount Wilson snimio prve fotografije Andromedine maglice (M 31) na kojima je bilo vidljivo da se ta slabašna mrlja svjetlosti sastoji iz mnoštva pojedinačnih zvijezda. Među njima je uočio i klasične cefeide – promjenljive (pulsirajuće) zvijezde dobro poznate od prije iz naše galaksije. Odredivši periode promjene sjaja i njihovu vizualnu veličinu, Hubble je izračunao da je M 31 udaljena od nas 930 000 svjetlosnih godina, što znači da se nalazi daleko izvan Mliječne staze. Poznavajući udaljenost i kutnu veličinu maglice, odredio joj je i stvarnu veličinu; pa se tako pokazalo da je spiralna maglica u Andromedi golem zvjezdani sustav nalik na našu galaksiju. Prema najnovijim mjerenjima Andromedina galaksija (M 31) udaljena je od nas 2,93 milijuna svj. godina. Galaksija Andromeda vidi se i golim okom. Ona je najudaljeniji objekt vidljiv bez teleskopa. Bezbrojne galaksije su mnogo slabijeg sjaja, što znači da su još udaljenije. Nakon Hubbleova otkrića veličina poznatog svemira nadmašila je i najsmjelija očekivanja.

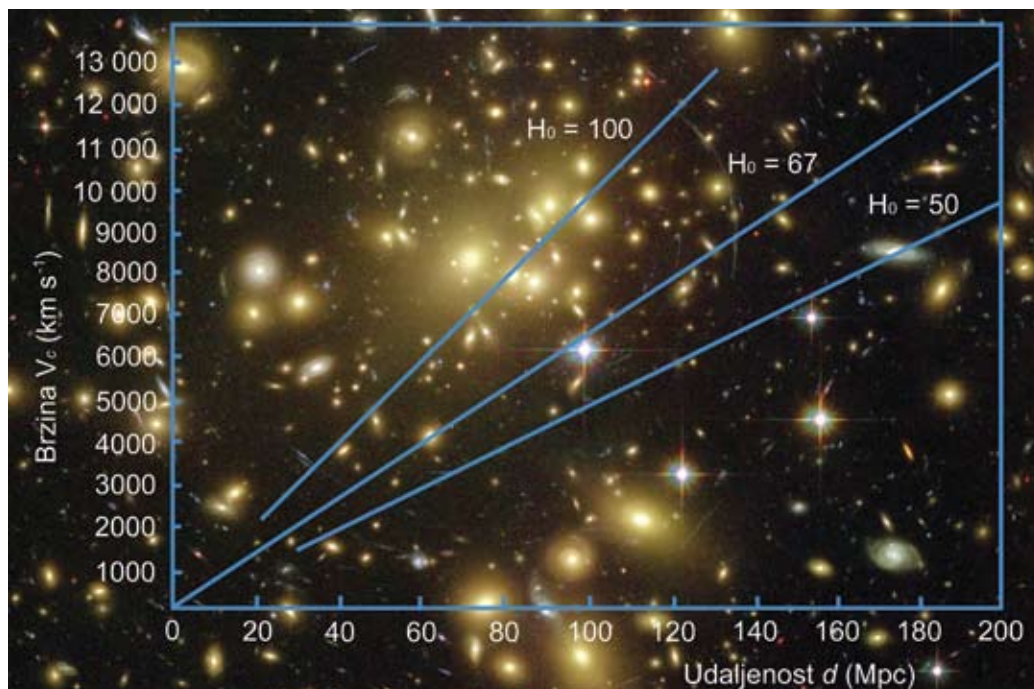
## Galaksije u pokretu

Astronomi brzinu galaksija mjere proučavanjem položaja tamnih linija u njihovim spektrima. Što je brzina udaljavanja galaksije veća, to su zbog Dopplerovog efekta spektralne linije više pomaknute prema crvenijim, većim valnim duljinama (sl. 32.1.a). Naime, kad se galaksija udaljava od nas, valovi njezine svjetlosti se rastežu. Što se galaksija brže kreće, više se rastežu i valovi svjetlosti. Duže valove doživljavamo kao crveniju svjetlost. Hubble

je otkrio da prividna brzina galaksije ovisi o njezinoj udaljenosti, što je galaksija dalje, to se ona brže udaljava od nas (ima veći crveni pomak). Tu relaciju nazivamo Hubbleov zakon koji pišemo:  $v = H_0 \cdot d$ . Ovdje  $v$  označava brzinu udaljavanja galaksije,  $d$  njezinu udaljenost,  $H_0$  je tzv. Hubbleova konstanta čiju vrijednost izražavamo u pomalo čudnim jedinicama: kilometar u sekundi na megaparsek (km/s/Mpc). To je prirast brzine udaljavanja po jednom megaparseku (sl. 32.1.b). Hubbleov zakon koji povezuje brzine i udaljenosti (s iznimkom situacije kad se ništa uopće ne kreće) važeći je u bilo kojem dijelu svemira.



Sl. 32.1.a Pomak prema crvenom u galaksija.



SI. 32.1.b Grafikon prikazuje ovisnost između brzina udaljavanja galaksija i njihovih udaljenosti za tri različite vrijednosti brzine širenja svemira, što je tzv. Hubbleova konstanta.

Hubbleovo otkriće bilo je tako neočekivano da nije odmah shvaćeno njegovo puno značenje. Kako bismo si lakše (dvodimenzionalno) predočili Hubbleov zakon, uzmimo balon i nacrtajmo na njemu nekoliko točkica. Polako ga napušimo. Kako se balon širi, tako se udaljenost između svakog para točkica povećava. Zamislite da ste vi jedna od tih točkica i gledate prema ostalim točkicama. S tog mjesta promatranja vama bi se činilo da se sve točkice udaljuju od vas. Nije bitno koju točku odaberete, sa svake je isti pogled. Dakle, galaksije u svemiru koji se širi u poput točaka na balonu koji napuhavamo.

Kad jednom odredimo vrijednost Hubbleove konstante, možemo iz crvenog pomaka u spektru galaksije na temelju Hubbleova zakona odrediti njezinu udaljenost. Veličina Hubbleove konstante je povezana sa starošću, razvojem i sudbinom svemira.

Već sedam i pol desetljeća astronomi pokušavaju što točnije odrediti vrijednost Hubbleove konstante. Hubble je u početku predlagao vrijednost od 500 km/s/Mpc. Allan R. Sandage i drugi astronomi znatno su poboljšali točnost mjerenja i prvotnu vrijednost Hubbleove konstante smanjuju na 50 – 100 km/s/Mpc. Do kraja prošlog stoljeća procjene Hubbleove konstante nalazile su se uglavnom unutar ranije određene granice. U svemu ovome nastala je zbrka, u kojoj su se znanstvenici po svojoj slobodnoj prosudbi odlučivali za proizvoljnu vrijednost Hubbleove konstante.

U suštini određivanje Hubbleove konstante je jednostavno, potrebno je samo izmjeriti brzinu i udaljenost galaksija. Mjerenje brzine neke galaksije je lako i izravno: na osnovi izmjerenih pomaka spektralnih linija određuje se brzina udaljavanja.

Kad je određivanje Hubbleove konstante tako jednostavno, zašto je ono ipak veliki problem suvremene kozmologije, prisutan već više od sedamdeset godina? Dva su osnovna razloga. Prvi je što na gibanje galaksija utječe i gravitacijsko privlačenje njihovih susjeda.

Druga teškoća proizlazi iz činjenice da je mjerenje galaktičkih udaljenosti znatno teže, nego što smo mislili. Dakle, za točno određivanje Hubbleove konstante ne samo što moramo imati točne indikatore udaljenosti, već mjerenja moraju biti načinjena pri vrlo udaljenim galaksijama, kod kojih su vlastite brzine zanemarive u odnosu na brzinu širenja prostora.

Prva mjerenja udaljenosti drugih galaksija načinjena su krajem 1920-ih pomoću promjenljivih zvijezda cefeida. Cefeide su izuzetno sjajne zvijezde, njihove apsolutne magnitude dosežu  $-6$ , što znači da mogu biti 10 000 puta sjajnije od Sunca. Ali čak i pomoću najvećih teleskopa izrađenih prije 1990-ih godina prošloga stoljeća, cefeide su se mogle opaziti samo u nekolicini najbližih galaksija koje pripadaju Lokalnoj grupi. Astronomi su razvili i metode za mjerenje udaljenosti galaksija izvan Lokalne grupe, međutim one ovise o sekundarnim pokazateljima udaljenosti baždarenim unutar Lokalne grupe gdje su udaljenosti određene pomoću cefeida. U sekundarne pokazatelje udaljenosti spadaju kuglasti skupovi, supernove i područja H II – golemi oblaci u kojima se rađaju zvijezde. Pronalazeći takve objekte u galaksijama izvan Lokalne grupe i mjereći im sjaj, usporedimo ih s odgovarajućim objektima opaženim npr. u susjednoj Andromedinoj galaksiji te tako procijenimo udaljenost do udaljenijih galaksija (opširnije o određivanju udaljenosti pisali smo u poglavlju 15.).

Desetljećima su se astronomi nadali, da će problem određivanja međugalaktičkih udaljenosti biti riješen kad budu moguća promatranja s većom rezolucijom. Svemirski teleskop Hubble može razlučiti cefeide na deset puta većoj udaljenosti, dakle u 1000 puta većem volumenu svemira, nego što je moguće prilikom opažanja s površine Zemlje.

Uostalom ovo je i bio glavni motiv za gradnju svemirskog optičkog teleskopa, čija bi mjerenja omogućila točnije određivanje Hubbleove konstante.

# Tamna strana svemira

*Proučavanjem gibanja galaksija utvrđeno je da većina svemirske tvari nije u obliku zvijezda i drugih objekata koje vidimo, već tzv. tamna materija i tamna energija. Izračuni daju podatak da je za nas više od 95 posto onog što postoji u svemiru posve nevidljivo. Nedavno pronađeni dokazi ukazuju da se uslijed antigravitacijskog djelovanja tamne energije, o čijoj prirodi još ništa ne znamo, širenje svemira ubrzava.*

**S**vemir, u kojem živimo, se širi ali gravitacija tvari u njemu nastoji usporiti širenje – to je jedno od najvažnijih svojstava modela Velikog praska razvijenog do potkraj 20. stoljeća. Širi li se svemir dovoljno brzo da pobjegne vlastitoj gravitaciji – hoće li se nastaviti širiti unedogled ili će se jednom u budućnosti zaustaviti i potom sam u sebe urušiti?

Razmjerno je lako izmjeriti brzinu kojom se svemir širi, ali je mnogo teže utvrditi kolika je njegova ukupna masa. Osim toga Einsteinove jednadžbe dopuštaju postojanje jednog člana, danas poznatog kao kozmološka konstanta, koja ovisno o veličini može djelovati poput antigravitacije, ubrzavajući širenje svemira, ili kao dodatni gravitacijski utjecaj koji usporava njegovo širenje. Ništa u jednadžbama ne upućuje na veličinu te konstante – može biti jednaka ničemu ali i imati bilo koju pozitivnu ili negativnu vrijednost. Nakon otkrića Hubbleova zakona, Einstein je početkom 1930-tih zajedno s nizozemskim astronomom Willemom de Sitterom razvio model svemira u kojem je prostor posve ravan, s kozmološkom konstantom nula. Sve do godine 1998. prevladavalo je uvjerenje da kozmološka konstanta nema stvarne podloge.

## Analogija s vertikalnim hicem

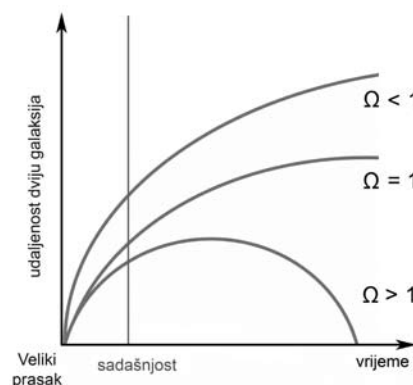
Primjenjujući postavke Einsteinove opće teorije relativnosti različite matematičke modele svemira stvorio je još 1922. godine ruski kozmolog i matematičar Alexander Friedmann. Friedmanovi modeli čine osnovu suvremene teorije Velikog praska.

Mogući razvoj svemira opisuje jedna prilično jednostavna Friedmanova jednadžba, koja – moglo bi se reći – iskazuje zakon očuvanja energije za svemir u cjelini. Poznato je da se energija javlja u mnogo različitih oblika, ali ovdje imamo samo dva. Tijelo koje se giba, na primjer puščani metak, nosi energiju koja se naziva kinetičkom energijom, a koja ovisi o masi i brzini tijela. Što je veća brzina i masa, to je veća kinetička energija tog tijela. Drugi oblik je potencijalna energija, koja je pohranjena u nekom sustavu zbog odnosa između dijelova sustava, a ima takvo svojstvo da može djelovati na taj isti odnos.

Svemir koji se širi ima mnogo kinetičke energije, koja u kozmološkom pogledu ovisi od brzine širenja svemira, odnosno Hubbleove konstante. Potencijalna energija zavisi od srednje gustoće svemira.

Da bi lakše pojasnili mogući razvoj svemira poslužiti ćemo se pokusom poznatim iz srednjoškolske fizike. Sa Zemljine površine ispalimo vertikalno tijelo (vertikalni hitac) i pratimo njegovo gibanje. Pritom zanemarimo otpor zraka i vrtnju Zemlje. Sila teže djelovat će nasuprot gibanju tijela i zato će ga usporavati. Budući je na sve većoj udaljenosti tijela od središta Zemlje sila teža sve manja, brzina tijela će se smanjivati sve polaganije. Ako je hicem postignuta dovoljna početna brzina – tzv. druga kozmička brzina ili brzina oslobađanja, tijelo će napustiti Zemljino gravitacijsko polje i nastaviti se udaljavati. Ukoliko je početna brzina bila jednaka brzini oslobađanja, brzina tijela će na velikoj udaljenosti od Zemlje ipak pasti na nulu. Ima li hitac početnu brzinu manju od brzine oslobađanja, tijelo će se već nakon kraćeg vremena zaustaviti i vratiti na Zemlju. Kada je kinetička energija veća od potencijalne, gravitacijska sila ne može zaustaviti udaljavanje tijela. U suprotnom, tijelo će se nakon nekog vremena prestati udaljavati i početi vraćati.

U kozmološkom okruženju situacija je slična i kao ključan faktor pojavljuje se srednja gustoća svemira. Tri su moguće sudbine svemira koje ovise o njegovoj stvarnoj gustoći (sl. 33.1.). Ako je srednja gustoća veća od kritične,



**Sl. 33.1.** Friedmanovi modeli – budućnost svemira ovisi o njegovoj stvarnoj srednjoj gustoći, odnosno ima li u svemiru dovoljno gravitacije da uspori širenje ili mu možda na kraju i obrne smjer.

# Čudo zvano život – postoje li izvanzemaljci?

*Što je život i kako je nastao? Postoji li život – konkretno, inteligentan život – izvan Sunčeva sustava? Ova pitanja zanimaju ljude od najdavnijih vremena, međutim, tek smo nedavno razvili tehnološke preduvjete za provođenje istraživanja i davanje znanstveno utemeljenih odgovora.*

**Z**emlja je nastala prije oko 4,5 milijardi godina, u vrtložnom protoplanetarnom disku sazdanom od plina i prašine. Mnoga tek stvorena tijela jurila su oko Sunca, sudarala se, razbijala i međusobno spajala. Mlada Zemlja je u to vrijeme bila žestoko bombardirana stijenama i kamenjem iz svemira pa joj je trebalo još oko pola milijarde godina da se ohladi ispod vrelišta vode. Zbog vulkanskih erupcija njezina nemirna površina se stalno mijenjala.

## Ugljik ključni sastojak života

Otrovni plinovi i prašina iz vulkana prekrili su Zemlju gustom praatmosferom koja je bila krcata oblacima i stalno parana munjama. Nedugo zatim počele su padati kiše. Goleme količine vodene pare koju su izbacili vulkani počele su se kondenzirati i padati kao neprekidna kiša na još uvijek vruću površinu Zemlje. Tijekom milijuna godina neprestanih silovitih kiša Zemljina površina se polako hladila te se naposljetku ta golema količina vode počela na površini skupljati i oblikovati prostrane praooceane.

Otrovna i naelektrizirana atmosfera, drhtanje tla od tutnjave divovskih vulkana, usijana lava koja se izljujeva iz kaldera i vreli oceani, stvarali su krajolik koji je oličenje našeg poimanja pakla. U tom tamnom, neprijateljskom svijetu vulkana i zagušljive atmosfere, dogodilo se čudo galaktičkih razmjera – pojavio se život. U atmosferi tek stvorene Zemlje nije bilo slobodnog kisika ali je bilo mnogo raznih vulkanskih plinova: ugljikova dioksida, ugljikova monoksida, sumporovodika, amonijaka, cijanovodika... Iako su za nas svi ti plinovi otrovni, oni su bili dah života za prve žive organizme.

Prvi pouzdani tragovi života na Zemlji pronađeni su u južnoafričkoj regiji Transvaalu, u stijenama starim 3,5 milijardi godina. Radi se o kemofosilima, ostacima kemijskih spojeva koji nastaju razgradnjom klorofila. Međutim, novije geokemijske analize otkrivaju kako stijene na grenlandskom otoku Akilia (sl. 34.1.) sadrže još starije dokaze o početku života na Zemlji. Povećan udio ugljikovih izotopa 12 i 13 u grenlandskim stijenama starim 3,9 milijardi

godina ukazuje da su živi organizmi na Zemlji već tada postojali. To će reći da su prvi mikroorganizmi nastali već stotinjak milijuna godina nakon stvrdnjavanja i hlađenja Zemljine kore.

Svi će se znanstvenici složiti da nije jednostavno definirati život. Jedno od objašnjenja koje bi moglo zadovoljiti većinu jest da je život vezan uz visoko organizirane tvari, složene molekule bjelančevina tj. proteinske molekule, koje imaju posebna strukturna i funkcionalna svojstva. Proteini (bjelančevine) sudjeluju u izgradnji svih živih organizama od jednostavnih bakterija do čovjeka. Najvažniji element u proteinskim spojevima je ugljik i on je doista jedinstven. Atomi ugljika imaju svojstvo da se mogu međusobno povezivati i s drugim atomima u dugačke lance i prstene. Tako mogu nastati i goleme proteinske molekule koje sadrže do nekoliko milijardi atoma, to su najkompliciraniji kemijski spojevi u prirodi. Osim ugljika, u njima su najzastupljeniji elementi vodik, dušik, kisik, fosfor i sumpor. Najvažniji dijelovi proteinskih molekula su aminokiseline koje su međusobno povezane poput karika u lancu. Redoslijed i broj tih karika određuje



**Sl. 34.1.** Stijene na grenlandskom otoku Akilia sadrže dokaze da je život na Zemlji postojao još prije 3,9 milijardi godina.

specifične karakteristike svakog proteina. Aminokiselina ima više vrsta ali u proteinima ih je pronađeno dvadeset.

Većina anorganskih tvari, u za današnji život posve nepovoljnim uvjetima koji su postojali na pradavnoj Zemlji, mogle su oblikovati organske tvari koje izgrađuju živa bića.

U svom čuvenom pokusu 1953. godine američki kemičar Stanley Miller pokušao je uređajima oponašati prilike kakve su na Zemlji vladale u praskozorje života. U zatvorenu posudu stavio je vodu (koja je predstavljala prva mora) i smjesu plinova, nalik na atmosferu kakva je vjerojatno okruživala mladu Zemlju. Zatim je danima kroz tu smjesu puštao umjetne munje. Rezultat je zapanjio stručnjake. Na dnu posude nađeno je 19 različitih organskih spojeva, među kojima i šest aminokiselina od kojih su izgrađene bjelančevine. Potom su i drugi znanstvenici istraživali razne smjese plinova i podvrgavali ih različitim uvjetima koji su vladali u zemaljskoj gustoj praatmosferi. Svi su ti pokusi dokazali mogućnost spontanog stvaranja jednostavnijih organskih spojeva potrebnih živim organizmima. Tako se čini da je stvaranje organskih molekula na mladoj Zemlji bilo gotovo neizbježno.

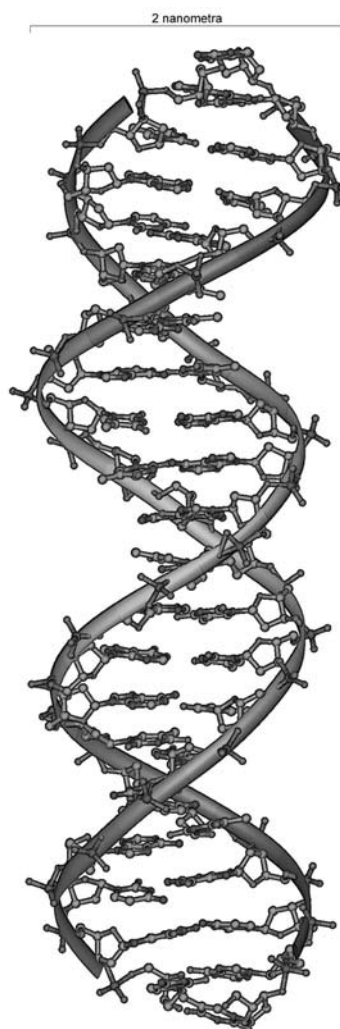
Kemijski sastav tvari od kojih su sazđani živi organizmi relativno je dobro poznat, kao i procesi koji se u njima zbivaju: izmjena tvari, rast, razmnožavanje, reagiranje na podražaje... međutim ni do danas nije pouzdano jasno kako i gdje je nastao život na našem planetu. Teorija o tome kako je nastao život na Zemlji ima mnogo, koja je od njih točna nitko ne zna jer živih svjedoka iz vremena od prije četiri milijarde godina nema.

## Vjerojatnost slučaja

Prema najstarijoj i najpoznatijoj teoriji o nastanku života, tzv. kreacionističkoj teoriji, sve vidljivo i nevidljivo stvorio je Bog. Broj vrsta na Zemlji je stalan i one su nepromjenjive. Takve hipoteze pripadaju teologiji i filozofiji i uglavnom su nespojive sa znanostima. Mislioci stare Grčke tvrdili su da živa bića mogu nastati ne samo rađanjem od sebi sličnih organizama, već i od anorganskih tvari. Tako su primjerice vjerovali da žabe nastaju od blata, uši od prljavog rublja, razne ličinke od pokvarenoga mesa. Odavna je poznato da takve transformacije nisu moguće.

Evolucionisti smatraju da su viši organizmi evoluirali iz nižih a najjednostavniji oblici života nastali su igrom slučaja, redanjem aminokiselina u lanac da bi nastala bjelančevina. Najjednostavniji protein sastoji se od lanca koji ima stotinjak aminokiselina. Da bi nastao protein aminokiseline moraju biti povezane prema određenom optimalnom redoslijedu i zapravo je to najveći problem. Šansa da se 100 aminokiselina slučajno poreda u optimalan raspored iznosi  $1:10^{158}$  (1 sa 158 nula!). Astrofizičari su izračunali da je u svemiru  $10^{80}$  infinitezimalnih (beskrajno malih) čestica. Ako pretpostavimo da svaka od tih čestica može svake sekunde sudjelovati u tisuću milijardi različitih događaja, tijekom cjelokupnog postojanja svemira moglo se odigrati najviše  $10^{110}$  događaja. To znači da se događaj manji od vjerojatnosti  $1:10^{110}$  ne može odigrati, njegova vjerojatnost je nula. Posve je razvidno da statistika ovdje ne ide u prilog evolucionistima. Međutim i nakon stvaranja najjednostavnijeg proteina, još uvijek smo na početku jer proteini su samo djelić inventara osnovne građevne jedinice cjelokupnog života na Zemlji – stanice.

Prema tumačenju evolucionista formiranje stanice odvijalo se slijedećim redoslijedom: od jednostavnih organskih i anorganskih tvari najprije su nastali ugljikohidrati, aminokiseline i baze nukleinskih kiselina. Od tih spojeva potom nastaju proteini i ribonukleinske kiseline (RNK) – dugačke lančaste molekule koja određuju strukturu novih proteina. Osim RNK sintetizirale su se i deoksiribonukleinske kiseline (DNK), čije su molekule stabilnije i određuju formiranje RNK, a time i redoslijed aminokiselina u proteinu (sl. 34.2.). Potom su se sintetizirali lipidi (tvari slične mastima) koji grade dvoslojnu staničnu membranu. Naposljetku se oblikovala još jedna zaštitna ovojnica – stanična stjenka i formiranje stanice je završeno, život na Zemlji je mogao započeti. Najjednostavniji organizmi poput bakterija su jednostanični, drugi organizmi su višestanični. Tako primjerice ljudsko biće ima oko 100 bilijuna ( $10^{14}$ ) stanica prosječnog promjera  $10\ \mu\text{m}$  i mase 1 nanograma ( $10^{-9}$  grama). Nećemo biti previše neskromni ako ustvrdimo da najveličanstvenije pojave u svemiru nisu ni divovske zvijezde, ni galaksije, pa ni supermasivne crne rupe, već mi sami!



Sl. 34.2. Struktura molekule nasljeđa, DNK. Prikazan je tek sićušni odsječak.

**adaptivna optika** Kompjuterski prilagodljiv optički sustav kojim se izoštrava slika svega što teleskop vidi. Pokraj zvijezde koju se promatra laser visoko u atmosferi stvara umjetnu zvijezdu. Računalo izračuna kako se svjetlost usporedne zvijezde lomi prolaskom kroz atmosferu, potom se pomiče savitljivo zrcalo kako bi se poništio utjecaj atmosfere čime se izoštrava slika nebeskog tijela.

**aerosol** Čestice raspršene u planetnoj atmosferi, mogu biti čvrste ili tekuće i čvrste obavijene tekućinom.

**afel** Točka u stazi tijela kad se ono nalazi najdalje od Sunca.

**akcelerator** Uređaj koji, pomoću elektromagneta, može ubrzati pokretne naelektrizirane čestice, dajući im više energije.

**akrecija** Prirast mase svemirskog tijela, primjerice pri oblikovanju zvijezda i planeta od međuzvjezdane tvari ili u bliskim dvojmim sustavima u kojima se materijal s jedne zvijezde pretače na drugu. Tvar oko zvijezde na koju se prenosi masa sa zvijezde pratioca stvara spiralni vrtlog – akrecijski disk.

**aktivne galaksije** Galaksije čija mala zgusnuta središta emitiraju goleme količine energije. U ovu skupinu uključene su radiogalaksije, Seyfertove galaksije, blazari (lacertide) i kvazari.

**anihilacija** Međusobno poništenje subatomske čestice i njene antičestice kojom prilikom nastaje par drugih čestica i antičestica, ili par fotona.

**anticiklona** Područje povišenog atmosferskog tlaka. U središnjem dijelu anticiklone zrak se spušta prema tlu, a odatle struji pri tlu prema njenim rubovima. Pri spuštanju zrak se grije. Anticiklona donosi suho i najčešće vedro vrijeme.

**antimaterija** Materija građena od subatomskih čestica suprotnih svojstava normalnoj materiji. Antičestica ima istu masu kao njoj odgovarajuća čestica, ali druga su joj svojstva suprotna npr. električni naboj, magnetski moment i dr. Pri susretu antimaterije s materijom dolazi do anihilacije. Iako su antičestice proizvedene u laboratorijima i nađene u kozmičkim zrakama, u svemiru nisu uočena tijela koja su sazdana od antimaterije.

**apoastron** Točka na eliptičnoj stazi zvijezde u dvojnim sustavu najviše udaljena od središta masa.

**apsolutna magnituda** Prividna veličina koju bi zvijezda imala kad bi bila udaljena 10 parseka ili 32,6 svjetlosnih godina.

**apsorpcijska crta** Tamna linija u spektru koju uzrokuju atomi što upijaju zračenje određenih valnih duljina.

**asteroid** Malo, stjenovito tijelo koje kruži oko Sunca kao mali planet, većina ih se nalazi između Marsa i Jupitera. U promjeru su od nekoliko metara do 1000 km.

**astronomska jedinica (AJ)** Srednja udaljenost Zemlje od Sunca, 149 597 870 km. Rabi se za opisivanje udaljenosti u Sunčevom sustavu i sustavima drugih zvijezda.

**atmosfera** Plinovita ovojnica što okružuje nebesko tijelo – zvijezdu, planet ili satelit.

**atom** Najmanji dio kemijskog elementa, sastoji se od jezgre i elektronskog omotača.

**barionska tvar** Obična atomska tvar, od koje smo sazdana mi, planeti i zvijezde. Protone i neutrone od kojih su sazdana atomske jezgre ubrajamo u obitelj čestica nazvanu barioni.

**bijeli patuljak** Urušena jezgra zvijezde slične Suncu koja je potrošila nuklearno gorivo, nalazi se u stanju degeneriranog plina.

**blazari** Vrsta aktivnih galaksija čiji se sjaj mijenja brzo i silovito, ime su dobile po prototipu BL Lacertae. Vjeruje se da su to kvazari u kojih je mlaz brzih čestica i svjetlosti koji izbija iz jezgre galaksije usmjeren izravno prema nama.

**bozoni** Čestice koje imaju cjelobrojni spin (0, 1, 2...). Za bozone ne vrijedi Paulijev princip isključenja tj. moguće je da neograničen broj čestica zauzima isto kvantno stanje u istom vremenskom trenutku. Baždarni bozoni su prijenosnici osnovnih sila. U Standardnom modelu poznate su tri vrste baždarnih bozona: fotoni, W i Z bozoni te gluoni.

**brzina oslobađanja** Najmanja brzina potrebna da se neko tijelo oslobodi gravitacijskog utjecaja drugog tijela, za Zemlju to je druga kozmička brzina 11,2 km/s.

**brzina svjetlosti** Mjera daljine koju svjetlost prevali u jednoj sekundi, u zrakopraznom prostoru iznosi 299 792,458 km/s. Ništa nije brže od svjetlosti.

**CCD** Kratica od engl. Charge-Coupled Device, to je poluvodički optički senzor – uređaj koji elektronički bilježi sliku. CCD je zamijenio fotografsku emulziju od koje je znatno osjetljiviji.

**cefeide** Pulsirajuće promjenljive zvijezde, sjaj mijenjaju u pravilnim razmacima, najčešće od 1 do 50 dana. Duljina perioda promjene sjaja povezana je s apsolutnom magnitudom zvijezde pa astronomi cefeidama mjere udaljenosti u svemiru. Cefeide su sjajni žuti divovi i superdivovi, ime su dobile po zvijezdi  $\delta$  Cephei.

**Chandrasekharova granica** Najveća masa koju može imati bijeli patuljak, iznosi oko 1,4 Sunčeve mase.

**ciklona** Područje niskog atmosferskog tlaka. Sadrži barem dvije različite zračne mase te fronte koje ih razdvajaju. Zrak u cikloni struji od rubova prema središtu. U središtu ciklone, ali i na frontama, zrak se uzdiže. Ciklona donosi promjenjivo vrijeme i oborine.

**crna rupa** Urušeni objekt čija je gravitacija tako snažna da je brzina oslobađanja veća od brzine svjetlosti, stoga iz gravitacijskog polja crne rupe ne može pobjeći tvar ni svjetlost.

**crni patuljak** Urušena zvijezda male mase, ohlađena do te mjere da više ne emitira vidljivo zračenje.

**crveni div** Jako narasla zvijezda s hladnom površinom, mnogo sjajnija i veća od Sunca. To je zvijezda u poodmaklom stadiju razvoja, koja je potrošila vodik i u svojoj unutrašnjosti počela sagorijevati helij.

**crveni patuljak** Zvijezda slabašna sjaja, manje veličine, hladnija i manje masivna od Sunca. Crveni patuljci se ubrajaju među najdugovječnije zvijezde u svemiru.

**crveni pomak** Povećanje valnih duljina svjetla, tako da ono postane više crveno kod izvora svjetlosti koji se od nas udaljava – nastaje kao posljedica Dopplerova efekta.

**degenerirana tvar/plin** Tvar vrlo velike gustoće čiji tlak ne ovisi o temperaturi, već samo o gustoći. Dobro provodi električnu struju i toplinu.

**deklinacija** Koordinate kojom se određuje mjesto nekog objekta na nebeskoj sferi – sjeverno ili južno od nebeskog ekvatora, odgovara zemljopisnoj širini na Zemlji.

**Dopplerov efekt** Prividna promjena valne duljine zvuka ili svjetlosti zbog gibanja izvora prema motritelju ili od njega. Kad se izvor približava motritelju kod svjetlosti dolazi do pomaka spektralnih linija prema plavome (valna duljina se skraćuje), a kad se udaljava linije su pomaknute prema crvenome (valna duljina se povećava).

**dvojna zvijezda** Par zvijezda koje se okreću oko zajedničkog težišta (središta mase). Zvijezda veće mase i bliže središtu je glavna komponenta. Približno polovica zvijezda u Mliječnoj stazi su članovi dvojmih ili višestrukih sustava.

**ekliptika** Velika kružnica na nebeskoj sferi kojom se prividno giba Sunce, zapravo je projekcija Zemljine staze oko Sunca na nebo.

**ekstinkcija** Slabljenje svjetlosti pri prolazu kroz neko sredstvo.

**elektromagnetska sila** Djeluje među električki nabijenim česticama i odgovorna je za održavanje atomske strukture, kemijskih reakcija i elektromagnetske pojave. Među istoimenim nabojima je odbojna, a među raznoimenim je privlačna. Manifestira se kao električna sila i magnetska sila.

**elektromagnetski spektar** Pun raspon elektromagnetskog zračenja prema njegovoj valnoj duljini. Spektar zračenja obuhvaća slijedeće valne duljine polazeći od najmanjih prema najvećima: gama-zrake, rendgenske zrake, ultraljubičasto zračenje, vidljiva svjetlost, infracrveno zračenje i radiovalovi.

**elektromagnetsko zračenje** Valovi energije koje prenose fotoni, kroz prazan prostor širi se brzinom svjetlosti, u rasponu je od gama-zraka do radiovalova.

**elektron** Stabilna, negativno nabijena čestica, jedna iz obitelji leptona. Elektroni se nalaze u atomima, a mogu postojati i samostalno.

**elektroslabla sila** Ujedinjena elektromagnetska i slaba sila. Nalaženjem teoretskog odnosa između nuklearne slabe i elektromagnetske sile učinjen je prvi korak prema jedinstvenoj teoriji svih sila.

**element** Temeljna tvar kao što je vodik, ugljik, kisik koja se ne može razložiti kemijskim reakcijama. Svaki element je određen atomskim brojem, tj. svaki atom nekog kemijskog elementa ima točno određen broj protona u jezgri. Pojedini element ima više izotopa – jezgre različitog broja neutrona.

**eliptična galaksija** Galaksija elipsoidnog ili kuglastog oblika, sadrži uglavnom stare zvijezde II. populacije, nedostaju joj spiralni krakovi i međuzvjezdana tvar.

# KAZALO IMENA

- John C. Adams (1819.-1892.), 63  
Edwin Aldrin, 36  
Neil Armstrong, 36  
Michael Antoniadis (1870.-1944.), 40  
Aristarh (310.-230. pr. Kr.), 132  
Aristotel (384.-322. pr. Kr.), 78  
Halton C. Arp, 241  
Walter H. Baade (1893.-1960.), 182, 192, 193, 227, 228, 243  
Johann J. Balmer (1825.-1898.), 105  
Gibor Basri, 211  
Eric E. Becklin, 211  
Jocelyn Bell-Burnell, 192  
Friedrich W. Bessel (1784.-1846.), 132, 135, 169, 216, 225  
Johann E. Bode (1747.-1826.), 85  
George Bond (1825.-1865.), 55  
Herman Bondi (1919.-2005.), 264  
James Bradley (1693.-1762.), 133  
Tycho Brahe (1546.-1601.), 39, 78, 130, 175, 182  
Michael Brown, 73, 74  
Giordano Bruno (1548.-1600.), 215  
Georges de Buffon (1707.-1788.), 11  
Robert Bunsen (1811.-1899.), 106  
Venetie Burney, 71  
Paul Butler, 217, 220  
Alastair G.W. Cameron (1925.-2005.), 14  
Annie J. Cannon (1863.-1941.), 107, 180  
Brandon Carter, 285  
Laurent Cassegrain (1629.-1693.), 112  
Jean D. Cassini (1625.-1712.), 39, 43, 48, 55, 131  
Thomas Chamberlin (1843.-1928.), 12  
Subrahmanyan Chandrasekhar (1910.-1995.), 172  
Auguste Charlois (1864.-1910.), 85  
Jean-Philippe L. de Chéseaux (1718.-1751.), 266  
James Christy, 72  
Alvan Clark (1804.-1887.), 113  
Alvan G. Clark (1832.-1897.), 113, 169  
Giuseppe Cocconi, 282  
William Cochran, 219  
Michael Collins, 36  
Herber D. Curtis (1872.-1942.), 243  
Pavel A. Čerenkov (1904.-1990.), 127  
Paul Davies, 274  
William Dawes (1799.-1868.), 55  
Thomas Digges (1546.-1595.), 266  
John Dollond (1706.-1761.), 112  
Christian Doppler (1803.-1853.), 106  
Frank Drake, 281, 282  
Henry Draper (1837.-1882.), 107, 180  
John W. Draper (1811.-1882.), 107  
Freeman Dyson, 274, 284  
Arthur S. Eddington (1882.-1944.), 109, 110, 155, 172  
Kenneth Edgeworth (1880.-1972.), 73  
Albert Einstein (1879.-1955.), 22, 125, 200, 258, 259, 267, 271, 292  
Johann Encke (1791.-1865.), 55, 79  
Epikur (341.-270. pr. Kr.), 215  
Eratosten, (276.-194. pr. Kr.), 130  
David Fabricius (1564.-1617.), 161, 162  
Enrico Fermi (1901.-1954.), 285  
Williamina Fleming (1857.-1911.), 154  
Leon Foucault (1819.-1858.), 113  
William Forrest, 211  
Dale Frail, 217  
Joseph Fraunhofer (1787.-1826.), 103, 112  
Alexander Friedmann (1888.-1925.), 258, 267  
Galileo Galilei (1564.-1642.), 22, 35, 48, 112, 142, 215, 224  
Johann G. Galle (1812.-1910.), 63  
George Gamow (1904.-1968.), 263  
George Gatewood, 220  
Carl F. Gauss (1777.-1855.), 85  
Tommy Gold (1920.-2004.), 264  
John Goodricke (1764.-1786.), 152  
James Graham, 211  
Alan Guth, 260  
Asaph Hall (1829.-1907.), 39  
Edmond Halley (1656.-1742.), 78, 132, 266  
Karl L. Harding (1765.-1834.), 85  
Robert Harington, 72  
Thomas Harriot (1560.-1621.), 35, 112  
Ernst Hartwig (1851.-1923.), 182  
Artie Hatzes, 219  
Stephen Hawking, 200, 259, 274  
Werner Heisenberg (1901.-1976.), 204  
Karl L. Hencke (1793.-1866.), 85  
Thomas Henderson (1798.-1844.), 133  
Greg Henry, 217  
John F.W. Herschel (1792.-1871.), 248  
William Herschel (1738.-1822.), 39, 63, 102, 112, 133, 225, 236  
Ejnar Hertzsprung (1873.-1967.), 153  
Victor Hess (1883.-1964.), 128  
Johannes Hevelius (1611.-1687.), 35, 112  
Antony Hewish, 192  
Stanley Hey (1909.-1990.), 119  
Peter Higgs, 261  
John R. Hind (1823.-1895.), 178  
Hiparh iz Nijeke (190.-120. pr. Kr.), 130, 132  
Kiyotsugu Hirayama (1874.-1943.), 87  
Robert Hooke (1635.-1703.), 49  
Fred Hoyle (1915.-2001.), 14, 264  
Edwin Hubble (1889.-1953.), 114, 117, 135, 236, 256, 271  
William Huggins (1824.-1910.), 106  
Russell Hulse, 129  
Milton Humason (1891.-1972.), 245  
Christiaan Huygens (1629.-1695.), 55  
Karl Jansky (1905.-1950.), 119, 233  
Pierre J. Janssen (1824.-1907.), 106  
James Jeans (1877.-1946.), 11  
Harold Jeffreys (1891.-1989.), 11  
David Jewitt, 73  
Peter van de Kamp (1901.-1995.), 216  
Immanuel Kant (1724.-1804.), 12, 224, 236, 256  
Jacobus C. Kapteyn (1851.-1922.), 225  
Johannes Kepler (1571.-1630.), 39, 85, 186, 266  
Gustaf Kirchhoff (1824.-1887.), 106  
Daniel Kirkwood (1814.-1895.), 87  
Nikola Kopernik (1473.-1543.), 20, 132, 215  
Robert Kraft, 178  
Gerard Kuiper (1905.-1973.), 14, 63, 67, 73  
Johann H. Lambert (1728.-1777.), 247  
Lew Landau (1908.-1968.), 193  
Pierre S. de Laplace (1749.-1827.), 12, 197  
David Latham, 219  
Max von Laue (1879.-1960.), 125  
Henrietta S. Leavitt (1868.-1921.), 156, 248  
Georges Lemaitre (1894.-1966.), 259  
William Lessell (1799.-1880.), 63  
Mihail V. Lomonosov (1711.-1765.), 22  
Percival Lowell (1855.-1916.), 39, 40, 71  
Jane Luu, 73  
Willem J. Luyten (1899.-1994.), 205  
Ferdinand Magellan (1480.-1521.), 248  
Geoffrey Marcy, 211, 217, 218, 220  
Jaymie Matthews, 245  
Edward W. Maunder (1851.-1928.), 142  
Antonia Maury (1866.-1952.), 110  
James C. Maxwell (1831.-1879.), 58, 111  
Donald W. McCarthy, 211  
Charles Messier (1730.-1817.), 164, 252  
John Michell (1724.-1793.), 197  
Stanley Miller (1930.-2007.), 277  
Rudolph Minkowski (1895.-1976.), 192, 243  
Andrija Mohorovičić (1857.-1936.), 28  
Geminiano Montanari (1633.-1687.), 152  
Philip Morrison (1915.-2005.), 282  
Forest Moulton (1872.-1952.), 12  
Isaac Newton (1642.-1727.), 48, 78, 79, 102, 112  
Heinrich W. M. Olbers (1758.-1840.), 85, 266  
Jan H. Oort (1900.-1992.), 17  
Robert Oppenheimer (1904.-1967.), 193  
William Parsons, L.Ross (1800.-1867.), 112, 236  
Wolfgang Pauli (1900.-1958.), 128, 171  
Roger Penrose, 259  
Arno Penzias, 122, 263, 265, 266  
Christian H. F. Peters (1813.-1890.), 169  
Giuseppe Piazzi (1746.-1826.), 85  
l'Abbé J. Picard (1620.-1682.), 131  
Edward C. Pickering (1846.-1919.), 71, 107  
Antonio Pigafetta (1491.-1534.), 247  
Max Planck (1858.-1947.), 105, 259  
Klaudije Ptolemej (II. stoljeće), 224  
David Rabinowitz, 73, 74  
Henri N. Rassel (1877.-1957.), 12  
Karl W. Reinmuth (1892.-1979.), 90  
Giovanni Riccioli (1598.-1671.), 35  
Jean Richer (1630.-1696.), 131  
Johann W. Ritter (1776.-1810.), 102  
Édouard Roche (1820.-1883.), 59  
Nathan Rosen (1909.-1995.), 200  
Wilhelm C. Röntgen (1845.-1923.), 125  
Ole Rømer (1644.-1710.), 48  
Henry N. Russell (1877.-1957.), 108  
Martin Ryle (1918.-1984.), 243  
Giovanni Schiaparelli (1835.-1910.), 39, 40  
Bernhard Schmidt (1879.-1935.), 113  
Maarten Schmidt, 245  
Otto Schmidt (1891.-1956.), 12  
Richard L. Sears, 139  
Pater Pietro A. Secchi (1818.-1878.), 107  
Samuel H. Schwabe (1789.-1875.), 142  
Karl Schwarzschild (1873.-1916.), 198  
Carl Seyfert (1911.-1960.), 242  
Harlow Shapley (1885.-1972.), 225, 233, 234  
Willem de Sitter (1872.-1934.), 267  
Graham Smith, 243  
Sinclair Smith (1899.-1938.), 269  
Lyman Spitzer (1914.-1997.), 117, 123  
John Stauffer, 211  
Carl A. von Steinheil (1801.-1870.), 113  
Friedrich W. Struve (1793.-1864.), 133  
Jill C. Tarter, 209  
Joseph Taylor, 129  
Johannes D. Titius (1729.-1796.), 85  
Clyde Tombaugh (1906.-1997.), 71, 77  
Chadwick Trujillo, 73  
Stephane Udry, 220  
Urbain Le Verrier (1811.-1877.), 63  
Paul U. Villard (1860.-1934.), 126  
Leonardo da Vinci (1452.-1519.), 35  
George M. Volkoff (1914.-2000.), 193  
B. A. Voroncov - Veljaminov (1904.-1994.), 241  
John Weeler, 204  
Alfred Wegener (1880.-1930.), 28  
John A. Wheeler, 197  
Fred L. Whipple (1906.-2004.), 80  
Alois von B. Widmanstätten (1754.-1849.), 97  
Carl G. Witt (1866.-1946.), 90  
Max Wolf (1863.-1932.), 85  
Rudolf Wolf (1816.-1893.), 142  
William H. Wollaston (1766.-1828.), 103  
Alex Wolszczan, 217  
Thomas Wright (1711.-1786.), 224, 236, 256  
Franz X. von Zach (1754.-1832.), 85  
Pieter Zeeman (1865.-1943.), 107, 174  
Ben M. Zuckerman, 211  
Fritz Zwicky (1898.-1974.), 182, 193, 245, 269

# KAZALO POJMOVA

1, 2 ...

16 Cygni B, izvansol. planet, 219  
2 Micron All Sky Survey, 226  
2003 EL<sub>617</sub>, objekt Kuiperova pojasa, 74, 76  
2005 FY<sub>9</sub>, objekt Kuiperova pojasa, 74, 76  
21 cm, valna duljina vodika, 121, 167, 282  
3C 273, kvazar, 245  
40 Eridani B, bijeli patuljak, 170  
47 Ursae Majoris B, izvansolarni planet, 220  
51 Pegasi B, izvansolarni planet, 216 - 218  
55 Cancri, izvansol. planet, 220  
61 Cygni, dvojna zvijezda, 132, 133  
70 Virginis B, izvansolarni planet, 219, 220

## A

α Canis Major *vidi* Sirius  
α Centauri, 133, 134, 136  
α Orionis *vidi* Betelgez  
Abell 2218, skup galaksija, 270  
Abell 3627, skup galaksija, 254  
aberracija, 133  
- kromatska, 112  
adaptivna optika, 212, 290  
aerogel, 83  
aerosol, 31, 32, 290  
afel, 39, 79, 80, 290  
akrecija, 15, 173, 178, 181, 196, 290  
akrecijski disk, 126, 174, 178, 180, 181, 196, 197, 201-203, 245, 246, 290  
aktivna galaksija, 128, 201 - 203, 236, 237, 242, 243 - 246, 252, 290

Algol, pomrčinska promjenljiva zvijezda, 152

Allende, meteorit, 98

AM Herculis, kataklizmička promjenljiva zvijezda, 178

Amaltea (Amalthea), Jupiterov mjesec, 51, 54, 66

aminokiselina, 98, 276, 277, 278

amonijak, 15, 82, 220, 276

- alternativni život, 281

Amori, asteroidi, 90

Andromedina galaksija, (M 31), 182, 236, 240, 247, 250, 251, 256

- supernova, 152

anihilacija, 127, 140, 234, 261, 290

anortozit, Mjesec, 37

Antares, zvijezda, 103, 108, 138, 158, 163

Antarktik

- meteoriti, 46, 97

- ozonska rupa, 31

anticiklona, 31, 44, 49, 290

antičestica, 140, 200, 261, 290

antimaterija, 261, 290 *vidi također*

antičestica

antropička kozmologija, 285

Apollo, asteroidi, 89, 90

Apollo, svemirski program, 16, 36, 37, 83

apsolutna magnituda, 105, 135, 152-156, 183, 187, 253, 271, 290

apsolutna ništica, 105

apsorpcijske linije, 102, 103, 105, 107, 146, 173, 177, 184, 210, 290

arahnoidski vulkani, Venera, 26

Arecibo, radioteleskop, 120, 129, 282, 283

- poruka izvanzemaljima, 283

Arend-Roland, komet, 82

Ariel, Uranov mjesec, 63, 66

asimptotski divovi, 160

asocijacije, 233

astenosfera, Zemlja, 28

asteroid, 10, 11, 16, 46, 51, 75, 78, 80, 86-93, 94, 96, 97, 290

asteroidni pojas, 16, 17, 86, 88, 94

Astro, ultraljubičasti opservatorij, 124

astrofotografija, 107, 112, 113, 117

astronomska jedinica (AJ), 133, 290

astronomske konstante, 287

Ateni, asteroidi, 90, 91

atmosfera, 290

- Zemlja, 30, 32, 119, 122, 146, 276

- drugi planeti, 15, 18, 21, 24, 43, 48, 50, 55, 57, 64, 65, 67, 75, 279

- Titan, 219, 220, 222, 286

atom, 104, 105 -107, 290

- neutonska zvijezda, 191, 193

- rani svemir, 258, 259, 263

azimutna montaža, teleskopi, 113

## B

β Canis Major, promjenljiva zvijezda, 155

β Pictoris, 123

baklje, Sunce, 143

bakterije, 276 - 278, 380

Balmerove linije, 105, 162, 184, 245

barionska tvar, 270, 271, 273, 290

Barnardova galaksija, 249

Barnardova zvijezda, 134, 207, 216

Barringerov krater u Arizoni, 92

bazalt, 25, 28, 37

Bepi Colombo, svemir. sonda, 22

Betelgez, zvijezda, 158, 163

Biella, komet, 82

bijeje rupe, 201

bijeli ovali, Jupiter, 50

bijeli patuljak, 141, 151, 161, 168, 169, 170-174, 290

- Sirius B, 169, 170, 172, 134

- supernove I.a, 151, 174, 184, 185, 187, 294

bjelančevine (proteini), 276, 277

BL Lacertae, lacertida, 245, 290

blazari, 245, 246, 292

bljeskovi

- crvenih patuljaka, 205, 206-208

- gama-zraka, 127, 184, 285

- na Suncu, 127, 144, 147

boja, 102, 111

- spektar, 102-106

- Sunce, 106, 146

- zvijezde, 103, 107

bolidi, 96, 100

Bolšoi teleskop azimutalnij (BTA), 114

bozon, 261, 290, 291

brzina

- oslobađanja, 146, 197, 267, 290

- svjetlost, 201, 287, 290

- širenje svemira, 257, 267, 273

Bučica maglica, M 27, 164

## C

Cassegrainov teleskop, 112, 114

Cassini, svemirska sonda, 49, 54, 56, 57-61

Cassinijeva pukotina, 55

Cassiopea A, izvor radiovalova, 182, 183

CCD (charge-coupled device), poluvodički slikovni senzor, 73, 85, 117, 122, 125, 290

cefeide, 110, 152, 153-155, 162, 290

- mehanizam pulsacija, 155

- mjerenje udaljenosti, 110, 134, 135, 156, 157, 225, 236, 250, 257, 258

celule, Zemljina atmosfera, 32, 33

Centaurus A, radiogalaksija, 244

Ceres, patuljasti planet, ranije najveći asteroid, 11, 73, 75, 85, 87, 90, 293

CFC-i *vidi* klorofluorovodici

Chandra, rendgenski teleskop, 126, 202

Chandrasekharova granica, 171, 172, 174, 185- 187, 198, 290

Chiron (Hiron), asteroid, 86

Churyumov-Gerasimenko, komet, 84

ciklona, 84, 290

Clementine, svemirska sonda, 37

CNO, ciklus ugljik - dušik, 141

COBE (Cosmic Background Explorer), 122, 263-265, 268, 273

Coma, (Berenikina kosa) skup galaksija, 252, 253

Compton Gamma Ray Observatory, 127

Copernicus, ultraljubičasti svemirski teleskop, 124

COROT (Convection Rotation and planetary Transits), 221

Crab maglica *vidi* Rakovica

crna rupa, 126, 127, 197, 198-204, 270, 290

- Chandrasekharova granica, 171, 172, 174, 185- 187, 198-204, 290

- gravitacijski valovi, 129

- u galaktičkim središtima, 202, 203, 234, 245, 246, 274, 292, 294

- u zvijezdama, 151, 180, 184-186, 196, 203

crni dimnjaci, na Zemlji, 278

crno tijelo, 104, 109, 192

crveni divovi, 150, 152, 158-163, 167, 232, 290, 292

- asimptotski divovi, 160

- helijev bljesak, 159, 160, 161, 291

crveni patuljci, 133, 150, 205-210, 213, 219, 270, 290

- UV Ceti, 205-207

crveni pomak, 106, 107, 139, 290

- brzina galaksija, 135, 244, 245, 253, 256, 257, 266, 271

- dvojne zvijezde, 216, 282, 294

- izvansolarni planeti, 216, 217, 123

Crveni pravokutnik, maglica, 168

crvotočine, 201

CY Aquarius, promj. zvijezda, 155

Cygnus A, radiogalaksija, 243

Cygnus X-1, izvor rendgenskog zračenja, 203

## Č

Čerenkovljevi detektor, 127

## D

δ Cephei, promjenljiva zvijezda, 152, 153, 290

δ Scuti, promjenljiva zvijezda, 153, 155, 157

Deep Impact, svemirska sonda, 83, 84

degenerirani plin, 159-161, 171, 172, 178, 185, 186, 290

Deimos, Marsov mjesec, 16, 39, 46

deoksiribonukleinska kiselina (DNK), 277, 278, 283

deuterij, 140, 209, 210, 263, 265

diferencijalna rotacija, 139, 142, 235

dinosauri, 92, 227, 278

Diona (Dione), Saturnov mjesec, 60

disk

- akrecijski, 126, 174, 178, 180, 181, 196, 197, 201-203, 245, 246, 290

- galaktički, 226, 229

- protoplanetarni, 14, 73

Dopplerov efekt, 106, 107, 139, 290

- brzina galaksija, 135, 244, 245, 253, 256, 257, 266, 271

- pozadinsko zračenje, 266

Drakeova jednadžba, 281

Draperov katalog, 107, 180

Dumbell maglica *vidi* Bučica

dušik

- Titan, 61

- Triton, 70

- Zemljina atmosfera, 32, 276

dvojne zvijezde, 168, 181, 290, 294

- međudjelujuće, 151, 174, 178, 180, 181, 203, 214

- nove, 178, 179

- pomrčinske promjenljivice, 152

- supernove I.a, 187, 294