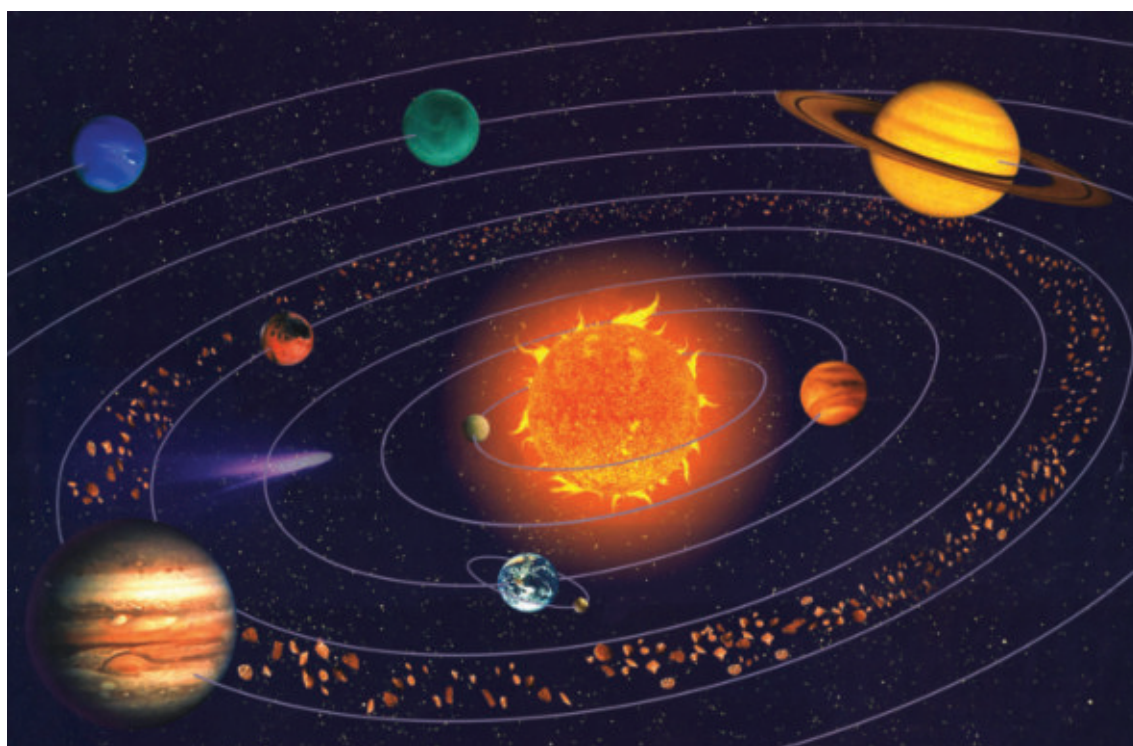


OD VELIKOG PRASKA DO STENE

II SUNČEV SISTEM



II. SUNČEV SISTEM

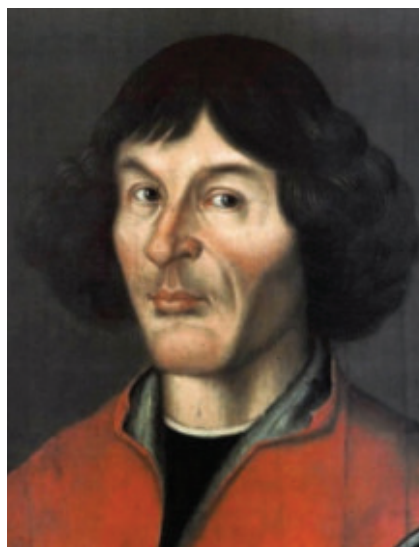
UVOD

Sunčev ili solarni sistem je deo univerzuma u kome se, u središnjem delu, nalazi jedna ili više zvezda oko koje se, ili oko kojih se, po određenim orbitama okreću planete, prirodni sateliti itd. Da bi se izbegla zabuna, drugi sunčevi sistemi nazivaju se i planetarni sistemi.

Sunčev sistem čine centralna zvezda, Sunce, koja gradi 99% njegove mase, zatim planete i druga nebeska tela koja se oko njega okreću usled sile gravitacije. Ovu pojavu prvi je otkrio Aristarh sa Samosa (310–230 p. n. e): Sunce je u centru tada poznatog univerzuma, sa Zemljom, koja ga obide za jednu godinu, obrćući se oko svoje ose za jedan dan.

Nikola Kopernik (slika 32) konstatovao je da se samo Mesec okreće oko Zemlje. Kada se utvrdilo da je Sunce zvezda, astronomija je krenula velikim koracima napred. Proučavanjem Sunca saznalo se mnogo više o zvezdama, njihovom stvaranju, sličnostima i razlikama. Sunčev sistem nalazi se na oko 30.000 svetlosnih godina od centra galaksije Mlečni put, i oko njega rotira brzinom od oko 230 km/s. Pun krug napravi za 220 miliona godina. Smatra se da u Mlečnom putu ima između 200 i 400 milijardi zvezda.

Mlečni put ili **Kumova slama**, kako se još naziva, jeste spiralna galaksija, disk sa četiri velika i dva mala kraka koji „izviru” iz centra galaksije (slika 33). Mi smo udobno smešteni u Orionovom spiralnom kraku naše galaksije, koja je i dom Sunca sa planetama i rodno mesto svih ljudi na planeti Zemlji.

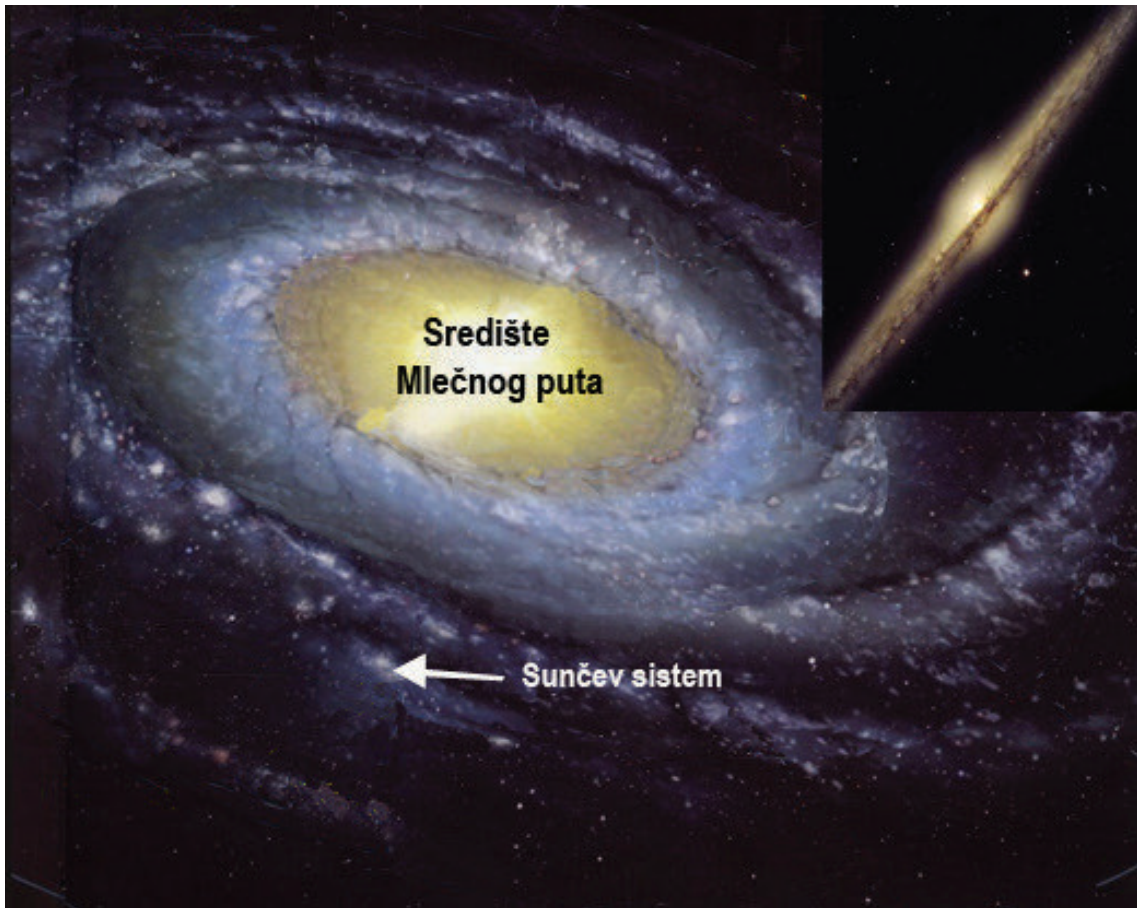


*Slika 32. Nikola Kopernik
(1473–1543)*

Sunčev sistem čine:

- Sunce, zvezda koja se nalazi u centru Sunčevog sistema;
- osam planeta: Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Uran i Neptun, koje kruže u gotovo istoj ravni oko Sunca, koje ih silom gravitacije i centrifugalnom silom drži na okupu i u ravnoteži;
- pet patuljastih planeta: Pluton, Ceres, Haumea, Makemake i Eris;

- mala nebeska tela: asteroidi, komete, objekti u Kajperovom pojasu (engl. *Kuiper Belt*) i Ortovom oblaku (engl. *Oort Cloud*);
- 240 poznatih satelita, od kojih su 162 u orbiti poznatih planeta i 78 „ostalih” i
- veliki broj čestica i međuplanetarnog prostora.



*Slika 33. Galaksija Mlečni put sa položajem Sunčevog sistema;
gore desno: Mlečni put iz „profila”*

Unutar Sunčevog sistema rastojanje se meri astronomskom jedinicom (AJ) koja iznosi prosečnu udaljenost Zemlje do Sunca, od oko 150 miliona km. Tako, na primer, Neptun, najudaljenija planeta, ima orbitalni prečnik od 30 AJ, a komete su znatno dalje, putuju, udaljavaju se i do 100.000 AJ od Sunca.

II.1 NASTANAK SUNČEVOG SISTEMA

Nema svedoka o rođenju našeg Sunčevog sistema, ali posmatranjem i proučavanjem Sunca, okolnih planeta, naše Zemlje, asteroida, meteorita itd., izvedeni su važni zaključci o njegovom stvaranju. Sunčev sistem je nastao hlađenjem solarne magline (nebule), opšte prihvaćene hipoteze proistekle još od ideja Imanuela Kanta i Pjera Laplasa (Pierre-Simon Laplace; slika 34).



Slika 34. Imanuel Kant (1724–1804), levo, i Pjer Simon Laplas (1749–1827), desno

Kada je nastao Sunčev sistem?

Odgovor je dobijen astronomskim osmatranjima, merenjima, hemijskim i fizičkim eksperimentima, matematičkim modelima, ali i proučavanjem stena na Zemlji, sa Meseca, meteorita itd.

Najstarije stene na Zemlji nastale su pre oko 4 milijarde godina (slika 35). Gabroanortoziti sa Meseca su stari oko 4,4 do 4,5 milijardi godina. Slična starost dobijena je i proučavanjem meteorita. Pomenuti podaci ukazuju na to da su Zemlja i planete Sunčevog sistema obrazovane u približno isto vreme, pre oko 4,5 do 5 milijardi godina.

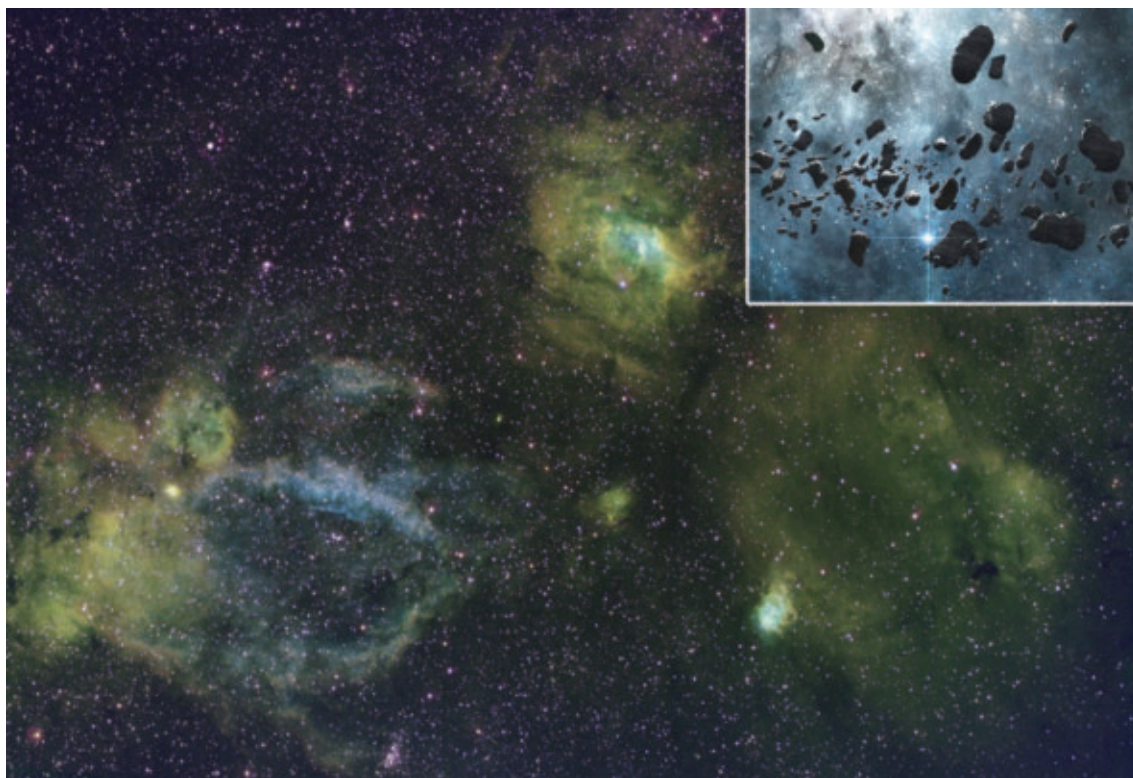
Kako je nastao Sunčev sistem?

To je pitanje koje je svako od nas barem jednom postavio sam sebi. Evo odgovora u koji je utkano postojeće znanje iz velikog broja nauka, uključujući i geologiju. Sve je počelo pre oko 5 milijardi godina. Iz postojeće magline (nebule),



Slika 35. Granitni gnajsevi u Minesoti (USA) smatraju se jednim od najstarijih stena na Zemlji

koja se „davno” raspršila u međuzvezdanom prostoru, eksplodirala je velika masivna zvezda, supernova kada je stvorena nova solarna maglina koja je verovatno bila preko milion puta veća od sadašnjeg Sunčevog sistema (slika 36). Bila je



Slika 36. Maglina (nebula) iz koje su stvoreni i stvaraju se planetarni sistemi, uključujući Sunčev sistem; gore desno: detalj nebule

izgrađena najvećim delom od dve „labavo vezane komponente”, gasova vodonika i helijuma, najlakših i po strukturi najjednostavnijih elemenata u periodnom sistemu, u kojima su “plivali”, “lebdeli” teži atomi – gvožđe, kiseonik, silicijum, kao i drugi elementi, odlomci i komadi minerala i stena itd.

Hlađenjem solarne magline, oblak gasa i prašine se skuplja, postaje gušći, zbog čega se čestice elemenata, minerala i stena, sudaraju, slepljuju, rastu i gravitaciono počinju da kreću. Ravnoteža između gravitacionog kolapsa, centrifugalne sile i očuvanja ugaonog momenta uzrokovala je to da većina mase dođe u središte nebule. Krupnija zrna dobijaju veću masu i jaču silu gravitacije, brže i lakše oko sebe „sakupljaju” sitnije čestice, još više narastaju i postaju **planetezimale**, koje su od veličine pesnice pa do prečnika i više kilometara (slika 37a). Usled pomenutih procesa i jače sile gravitacije, počinje rotacija solarne magline, koju pomažu i ubrzavaju udarni talasi eksplozije obližnje supernove, drugi snažni energetske izvori, gravitacioni uticaj grane galaksije u kome se nalazi ili njen prolaz kroz centar galaksije. Okretanje se ubrzava, solarna maglina se „zahuktava”, postaje gušća, manja i dobija oblik diska. Pri ovim procesima temperatura raste, posebno u središnjem delu, gde je najveća gravitacija. Smatra se da se solarna nebula nakon 100.000 godina smanjila na milioniti deo svoje zapremine, ali je i dalje bila nekoliko puta veća od veličine sadašnjeg Sunčevog sistema (slika 37b). Središnji deo solarne nebule, usled povećanja sile gravitacije, postaje sve gušći (slika 37c). U njoj su „upakovani” gasovi, elementi, oksidi, silikati, planetezimale koje će daljim međusobnim spajanjem dati embrione od kojih će nastati Sunce i unutrašnje, terestrične planete, među kojima i naša Zemlja (slika 37d). Deo planetezimala je ostao „neupotrebljen”, i taj „višak” se sada nalazi „zarobljen” u asteroidnom pojasu, Kajperovom pojasu, ili luta svemirom u obliku asteroida, kometa.

Gustina u središnjem delu solarne nebule je rasla sve do trenutka kada je gravitaciona energija prešla u toplotnu energiju (slika 37e). Tada se stvorila ogromna temperatura, od oko 16 miliona stepeni, i pritisak, verovatno preko 250 milijardi puta veći nego na Zemlji, što je stvorilo uslove za nuklearnu fuziju. Vodonik, koji je bilo najzastupljeniji element u solarnoj nebuli, pretvorio se u helijum oslobađajući ogromnu količinu energije. Tako je rođena nova zvezda, protosunce, koje je „pojelo” najveći deo nebule, preko 99% njene mase (slika 37f). Protosunce je imalo prečnik sličan sadašnjim orbitama Zemlje, Venere i Merkura. Za stvaranje nove zvezde bilo je potrebno oko 10 miliona godina.

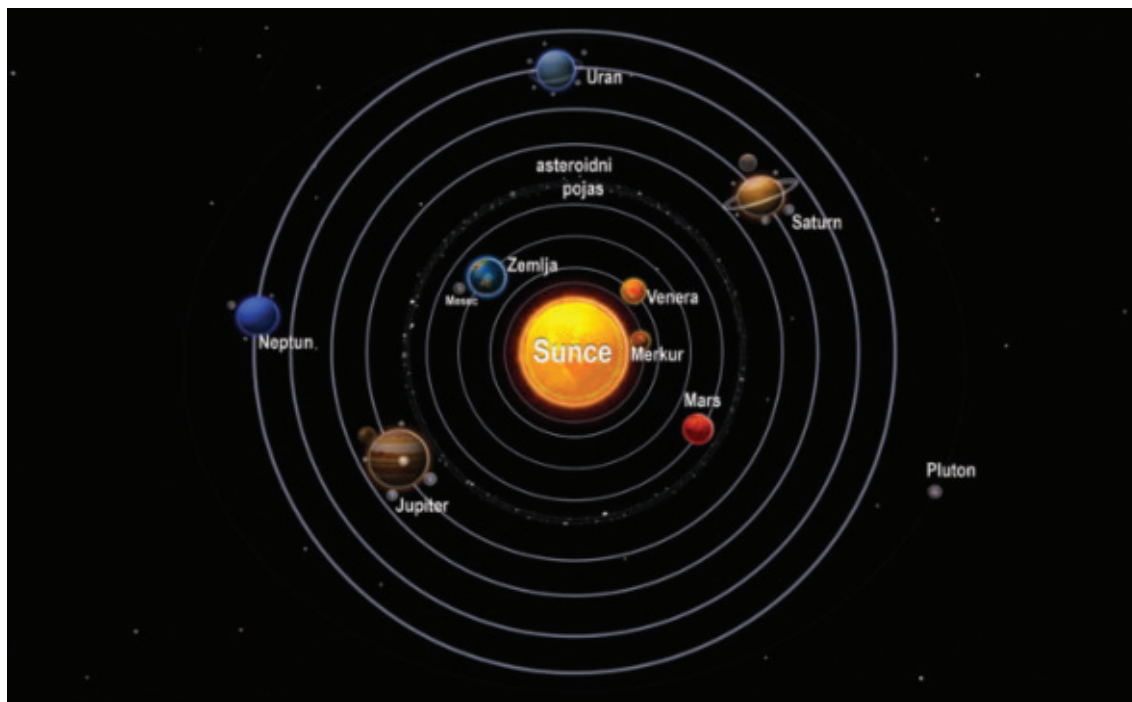
Sa vremenom, protosunce je postajalo sve gušće i manje, sve dok nije postalo „naše” Sunce. Prvih 100.000 godina razvoja protosunca praćeno je visokom svetlošću, koju je izazvala toplota koju je stvorila inicijalna kontrakcija. Kada se kompresija završila (oko 10 miliona godina), Sunce je ušlo u fazu T-Tauri, koju karakteriše manje snažna aktivnost. Solarni vetar, tok naelektrisanih čestica, menjao je karakter tokom faze T-Tauri i počeo je da isijava radijalno. Tokom ove faze, maglina, tj. nebula je, možda izgubila oko polovine svoje početne mase.



*Slika 37. Stvaranje
Sunčevog sistema*

Zvezda je nebesko telo koje zrači, emituje energiju proizvedenu nuklearnim reakcijama u njenoj unutrašnjosti. Sunce drago, jesi lepo, ali nimalo „naivno”. Naša zvezda je ogromna masivna hidrogenska bomba u konstantnom stanju eksplozije, koju sila gravitacije drži pod kontrolom, zbog čega je u stalnoj dinamičkoj ravnoteži. Nema odgovora na pitanje šta bi se dogodilo kada bi gravitaciona sila nadvlada energiju oslobođenu nuklearnom fuzijom ili obrnuto. Uživajmo u ravnoteži svemira, lepoti Sunca i naše planete i života na njoj. Podsetimo se samo koliko je Sunce veliko. U prečnik naše zvezde staje 109 planeta veličine Zemlje.

Vratimo se nastanku Sunčevog sistema. Od ostatka solarne nebule stvorio se disk, koji počinje da kruži oko novorođenog Sunca, koje ga je „vezalo” silom gravitacije. Centrifugalna sila, međutim, sprečava disku da „uđe” u tek rođenu zvezdu. Tako je Sunce u fazi sopstvenog rađanja „odguralo” višak gasova i prašine, od kojih će nastati planete, asteroidi i komete. Zbog visoke temperature, u blizini naše tek rođene zvezde zadržao se veći broj čestica i manji deo gasova. Sunčeve oluje, visoko energetske čestice i zračenje značajno su uticali na „odlazak”, odnosno udaljavanje gasova od naše zvezde i unutrašnjih planeta. Zbog toga su se u delu diska bližem novorođenoj zvezdi, Suncu, stvorile **unutrašnje, terestrične planete**: Merkur, Venera, Zemlja i Mars, asteroidi i meseci (slika 38). Najvećim delom su izgrađene od teških elemenata (gvožđa, kobalta, nikla), minerala i stena, i male količine gasova, zbog čega imaju veliku gustinu. Smatra se da su nastale tokom prvih 100 miliona godina stvaranja Sunčevog sistema. U delu diska daljem od Sunca, koji je bogatiji gasovima, stvoriće se **spoljašnje, gasovite planete**: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun, gde su temperature niže i povoljnije za akumulaciju

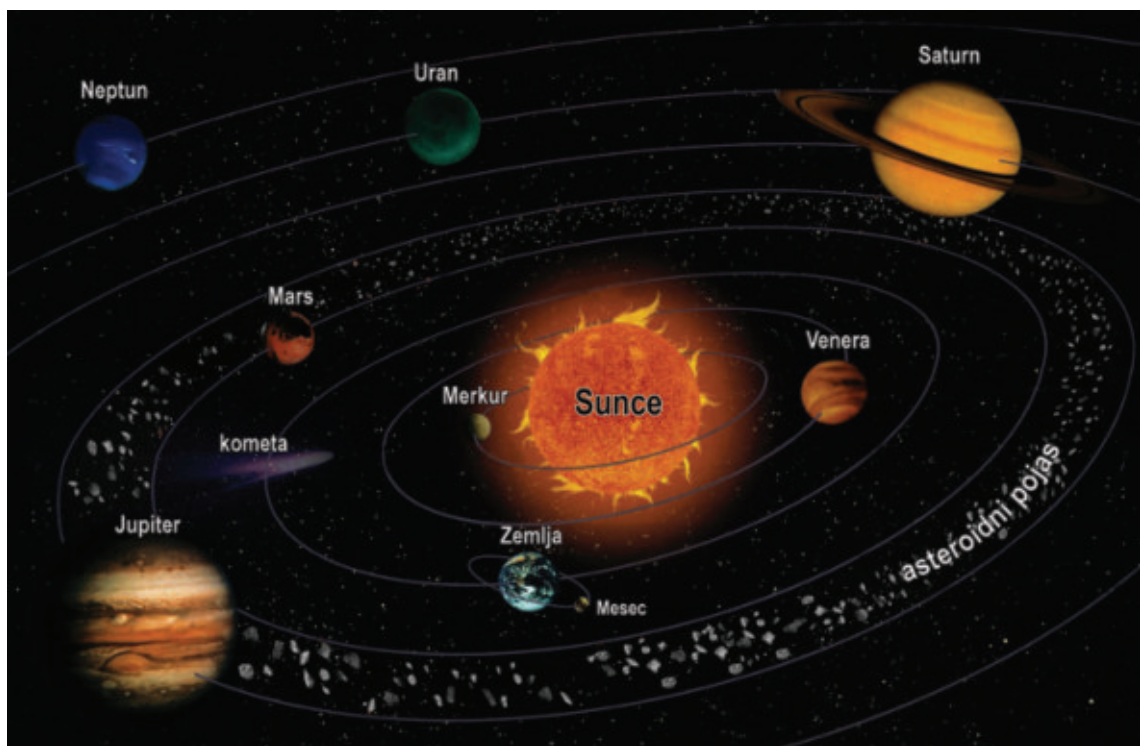


Slika 38. Planete Sunčevog sistema u prostoru; napomena: veličine planeta, njihovi međusobni odnosi i udaljenost od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

i opstanak gasova koji su „pobegli” iz unutrašnjeg dela diska, gde su nastali naša Zvezda i ostale terestrične planete. U njemu najviše ima vodonika, zatim helijuma, ugljen-dioksida, metana, amonijaka itd., koji su zbog niskih temperatura uglavnom u čvrstom stanju, kao led. Od njih su nastale „gasovite” planete, koje su znatno veće od terestričnih planeta, ali su manje gustine. Između unutrašnjih i spoljašnjih planeta „smešten” je asteroidni pojas, ostatak planetezimala.

I tako se rodio naš Sunčev sistem, sa Suncem u centru i planetama koje se silom gravitacije „poslušno” oko njega okreću, u približno istoj ravni (slika 39).

Potvrda opisane hipoteze o nastanku Sunčevog sistema su i osmatranja mlađih, nama bližih zvezda, gde se snažnim teleskopima vidi da su okružene međuzvezdanim oblacima od gasova i prašine.



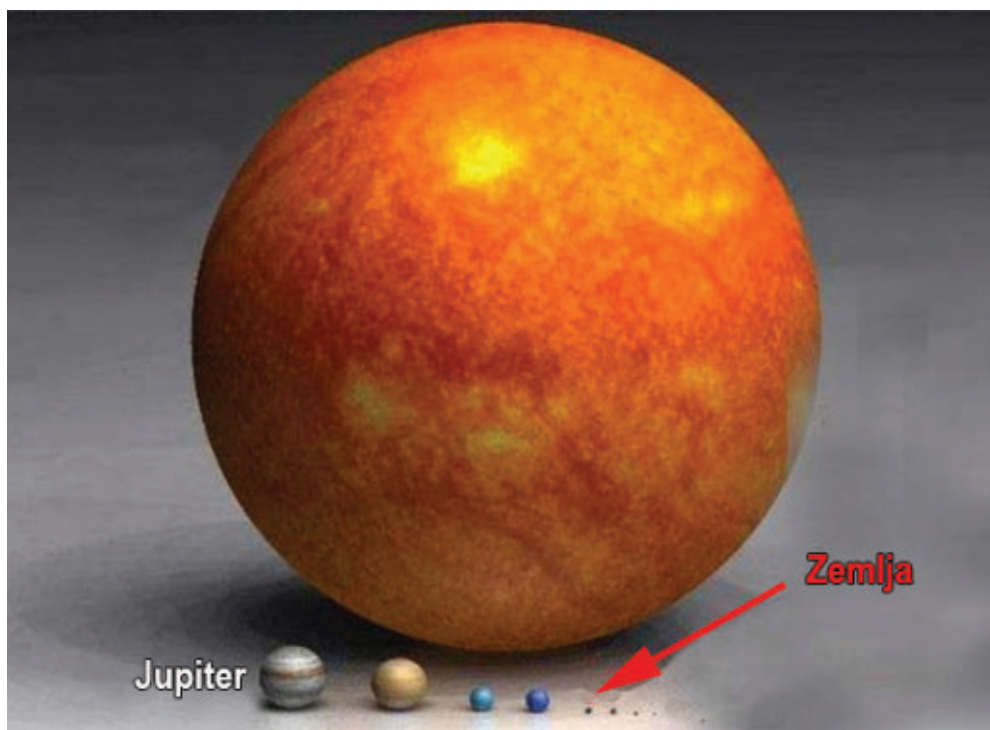
Slika 39. Sunce sa svojim planetama; napomena: veličina planeta i udaljenost od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

II.2 SUNCE

Sunce je nama najbliža i najbolje proučena zvezda. Sa Zemlje, to je najsajjnije nebesko telo, koje je od nas udaljeno oko 150 miliona kilometara (ovo rastojanje je jedna astronomska jedinica, 1 AJ). Sunce je smešteno u središtu sunčevog sistema, gradi 99% njegove mase i znatno je veće od svih planeta zajedno (slika 40).

Sunce je slojevite građe i nema čvrstu površinu. Jezgro je veoma gusto, gradi 50% mase, ali samo 1,5% zapremine.

Sunce po masi spada u prvih 10% svih zvezda u našoj galaksiji. Zajedno sa planetama koje se oko njega okreću, Sunce lepo „živi i stanuje” na periferiji galaksije Mlečni put, obilazeći oko njenog centra, polako i bezbrižno (za sada) za oko 225 do 250 miliona godina, tj. jednu galaktičku godinu. Sunce je bele boje, ali ga, zbog uticaja atmosfere, vidimo kao žuto. Svetlost se emituje zbog hlađenja naše zvezde, tj. njenog skupljanja i procesa fuzije vodonika u helijum, koji je na Zemlji nepoznat.



Slika 40. Veličina Sunca u odnosu na planete koje ga okružuju

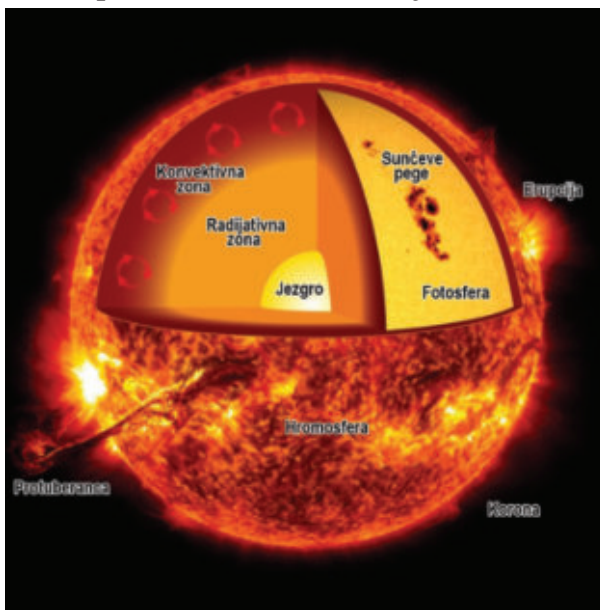
Sunce je usijana kugla vodonika i helijuma, koga na okupu drži jaka gravitacija. Poluprečnik Sunca je 1.392.000 km, 109 puta je veći od poluprečnika Zemlje. Zbog termonuklearnih procesa, svakoga časa se „steže” za oko 1 cm.

Sunce ima $1,9891 \times 10^{30}$ kg, što je 333.000 puta više od naše planete. Prosečna gustina Sunca je mala, $1,411 \text{ g/cm}^3$, i približna je gustini mrkog uglja.

Toplota u jezgru se prenosi u obliku gama zračenja i fotona. Atomi su jonizovani, dok fotoni nisu apsorbovani. Radijacija je dominantan prenos toplote. Temperatura, zajedno sa gustinom, progresivno opada idući od jezgra ka površini. U centru, jezgru, temperatura je $15 \times 10^6 \text{ K}$, a na površini 5780 K . Zbog ekstremno visokih temperatura, Sunce se ponaša kao plazma koja se okreće oko sebe. Brzina rotacije je veća na ekvatoru nego na polovima. Naša zvezda za 27 dana napravi pun krug.

Sunce je najvećim delom izgrađeno od vodonika (73,46%) i helijuma (24,58%), sadrži i male količine kiseonika (0,77%), ugljenika (0,29%), gvožđa (0,16%), neona (0,12%), dok azota, silicijuma, magnezijuma i sumpora ima malo (manje od 0,1%). Na našoj zvezdi otkriveno je i oko 60 drugih elemenata koji su u tragovima. U njemu se stvara magnetno polje koje nastaje kretanjem, konvekcijom vodonika i helijuma unutar plazme, koja je zbog visoke temperature jonizovana i elektroprovodna. Magnetno polje Sunca je slabo i dipolno. Linije sile magnetnog polja nalaze se u meridijanskoj ravni i imaju pravac od istoka ka zapadu.

Sunce po veličini pripada zvezdama spektralne klase G2 koje „žive” oko 10 milijardi godina. Naše Sunce postoji već oko 5 milijardi godina, sada je u „sredovečnom”, „najlepšem”, životnom dobu. U univerzumu postoji preko 10^{22} do 10^{24} milijardi zvezda, među kojima su neke mnogo veće, ali i mnogo manje od našeg Sunca. U poređenju sa drugim zvezdama, Sunce je prosečne veličine. Neke patuljaste zvezde, kao što su Sirijus B i Volf 359, mali su deo našeg Sunca, dok su gigantske zvezde, kao na primer, Delta Orionis, deset do pedeset puta veće. U unutrašnjem delu naše zvezde dešavaju se nuklearni fuzioni procesi, koji „daju snagu” našem Suncu.



Slika 41. Struktura Sunca

Sunce je izgrađeno od jezgra, radijativne zone, konvektivne zone, fotosfere i sunčeve atmosfere, koju čine hromosfera i korona (slika 41).

Jezgro gradi oko četvrtinu poluprečnika, u njemu je temperatura oko $15,6$ miliona K i pritisak 10^{16} Pa , a gustina, smatra se, oko dvanaest puta veća od olova. U pomenutim uslovima dešava se fuzija i oslobađa energija koja ide ka površini Sunca, kao svetlost i toplota. Svake sekunde 700 miliona tona vodonika se pretvori u helijum i oslobodi 5 miliona tona mase, zbog čega se Sunce smanjuje. Spoljašnji

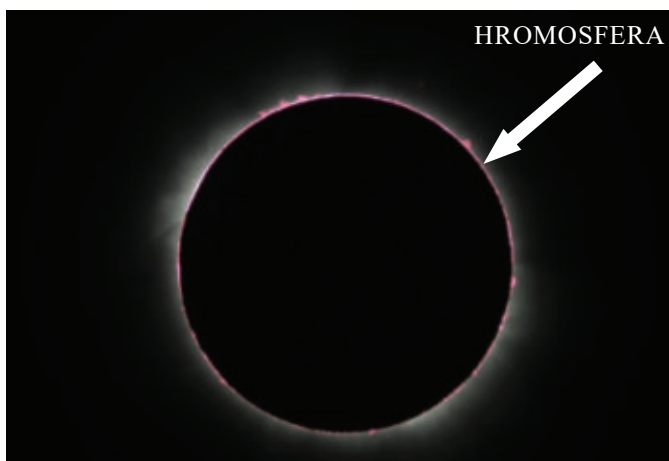
pritisak stvoren nuklearnom fuzijom je protivteža unutrašnjem pritisku i sili gravitacije, čime se uspostavlja ravnoteža procesa.

Radijativna ili radijaciona zona je iznad jezgra i gradi oko 70% poluprečnika Sunca. U njoj se energija proizvedena u jezgru prenosi zračenjem, radijacijom. To je prostor ispunjen jonizovanim gasovima, verovatno vodonikom i helijumom, koje „bombarduju” gama zraci iz jezgra prelazeći u X i UV zrake. Kroz ovu zonu svetlost sporo prolazi. Da bi izašla na površinu, smatra se, potrebno je oko 10 miliona godina.

Konvektivna zona je iznad radijacione zone i ima nižu temperaturu. Izgrađena je od vodonika i helijuma koji su hladniji, manje gustine i manje jonizovani nego u zoni radijacije, zbog čega apsorbuju fotone. Zbog veće gustine, pomenuti gasovi ponovo „padaju”, tonu u dublje delove, kada se proces obnavlja i održava konvektivna zona. Strujanja su slična konvekcionim strujanjima u omotaču Zemlje ili kretanju vode u morima i okeanima. Ovim procesima prenosi se energija do fotosfere, vidljive površine Sunca.

Fotosfera je površinski sloj Sunca, gde je temperatura oko 7000 K na donjem i oko 4000 K na gornjem delu. To je poslednji sloj koji vidimo kada gledamo Sunce. Izgrađena je od 75% vodonika, 24% helijuma i 1% drugih elemenata koji se nalaze u univerzumu. Debljine je oko 300 km. U njoj su gusti gasovi koji stalno „izviru” iz dubine, zbog čega površina fotosfere ima granulastu strukturu sa stalnim kretanjem i menjanjem oblika „zrna”, dajući utisak da Sunce ima jasnu, oštru površinu, ali to je zapravo gas.

Sunčeva atmosfera ima dva sloja: hromosferu i koronu. To je prozračni omotač kroz koji se vidi fotosfera. Njen donji deo je **hromosfera**, mlaz gasa oko 500 km u prečniku koji dostiže visinu od 10.000 km. U njoj temperatura raste sa visinom, od 4300 do 8300 K, zbog uticaja magnetnog polja koje učestvuje u transportu energije. To je solarni disk, rozikaste boje, po kojoj je i dobio ime. Nepravilnog je oblika i sa Zemlje se vidi samo za vreme potpunog pomračenja Sunca (slika 42).

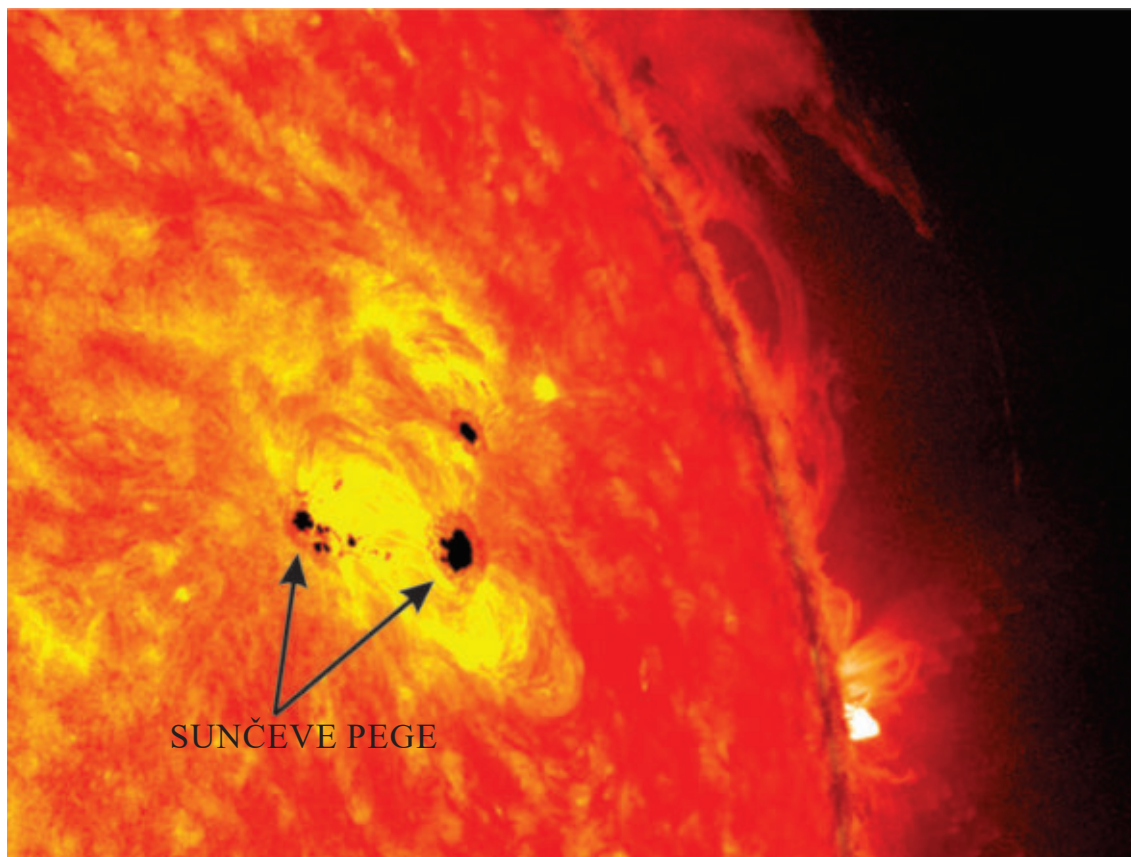


Slika 42. Hromosfera za vreme pomračenja Sunca

U višim delovima hromosfere, u kojima mlazevi usijanih gasova stvaraju prominencije i sunčeve baklje, temperatura je viša. U gornjim delovima Sunčeve atmosfere, **koroni**, temperatura gasova je još veća, do 1.000.000 K, verovatno zbog uticaja magnetnog polja Sunca. Korona je debljine oko 10.000 km. Loptastog je oblika, neprestano se kreće i menja oblik. Uprkos visokim temperaturama, u koroni nije „vruće” jer je ona veoma male gustine.

Pomenimo i sunčeve pege, protuberance, solarne baklje, erupcije i sunčev vetar.

Sunčeve pege su „mrlje” na fotosferi (slika 43). One nisu crne, već tako izgledaju jer je oko njih jaka svetlost, sjaj od fotosfere. Pege imaju temperaturu 4500 K, nižu od temperature površine Sunca, koja iznosi 5800 K.



Slika 43. Sunčeve pege

Sunčeve pege nastaju usled uticaja, reakcije solarnog magnetnog polja i brzine rotacije naše zvezde. Sunce ne rotira kao kruto telo, na ekvatoru 25 dana, a na polovima preko 30 dana. Magnetno polje usporava kretanje gasa u pegama, zbog čega su niže temperature. Pege često formiraju grupe koje „plivaju” po površini Sunca usled njegove rotacije i mogu biti bipolarne sa severnim i južnim polom. Broj i veličina sunčevih pega se povećava i smanjuje u periodu od jedanaest godina. Najčešće „žive” nekoliko nedelja, veoma retko duže. Galilej je prvi Zemljanin koji je 1609. godine proučavao Sunčeve pege pomoću teleskopa.

Sunčeve pege utiču na život na Zemlji, zbog čega se sistematski posmatraju još od pronalaska teleskopa, pre 400 godina. Pomenimo i Maunderov minimum, koji je trajao od 1645. do 1715. godine, kada Sunčeve pege nisu bile vidljive. U ovom periodu „malom ledenom dobu”, klima u Evropi je bila izuzetno hladna, što ukazuje na to da postoji veza između Zemljine klime, solarne aktivnosti i magnetnog polja naše zvezde. Poslednje maksimalne solarne aktivnosti bile su 2000.

godine, zatim 2011. godine, a minimalne 2007. godine. Dužina aktivnosti ciklusa Sunčevog magnetnog polja je 22 godine, ne 11, jer postoji preokret magnetnih polova Sunca svake 22 godine.

Protuberance su mlazevi hromosferne plazme u koroni. Izgledaju kao plamenovi gasa i vidljivi su iznad sunčevog diska. Mogu dostići i visinu od 150.000 km iznad fotosfere, prolazeći kroz hromosferu i koronu.

Solarne baklje i erupcije su kratkotrajni bljeskovi u hromosferi koji se javljaju iznad sunčevih pega. Nastaju procesima na površini Sunca koji drastično menjaju linije magnetnog polja.

Sunčev ili **solarni vetar** takođe nastaje procesima Sunčevog magnetnog polja. Stvara se u koronarnim rupama, gde su linije magnetnog polja otvorene ka svemiru i uglavnom se nalaze na polovima. To je supersonični tok sunčevih čestica: protona, elektrona i jona koji „poplave” Sunčev sistem. Strujanje elektrona i protona izbačenih iz gornjih delova korone se „oduva” brzinom i do 60 km/s. Jedan njihov deo, zbog veoma visoke temperature, „pobegne” iz gravitacionog polja naše zvezde, uzrokujući gubitak mase. Nastaju mlazevi jonizovanog gasa, koji na našu planetu stignu za oko četiri dana i utiču i na atmosferu Zemlje. Protoni i elektroni koji čine Sunčev vetar kreću se velikim brzinama i pri sudaru sa česticama u Zemljinj atmosferi jonizuju gas stvarajući polarnu svetlost. Ona je posebno uočljiva u polarnim područjima, a naziva se Aurora borealis (slika 44) na severnoj, odnosno Aurora australis na južnoj hemisferi. Ove pojave narušavaju radio-komunikacije, a ponekad utiču i na visoki napon u električnim dalekovodima.



Slika 44. Aurora borealis

Evo nekoliko zanimljivosti o Suncu:

Da li se menja udaljenost između Zemlje i Sunca?

Odgovor je da. Za oko 3% tokom cele godine, jer je orbita naše planete malo „kriva”, eliptična. Ipak Zemlja se konstantno polako udaljava od Sunca, jer naša zvezda nuklearnom fuzijom neprekidno smanjuje masu, zbog čega sila gravitacije slabi i orbita Zemlje se širi, za oko 1 cm godišnje.

Koliko dugo putuje svetlost od Sunca do nas?

Da, naravno da znate, oko 8,3 minuta. Podsetimo se da je Sunce udaljeno od Zemlje 150 miliona km, a da je brzina svetlosti 300.000 km/s. Zbog eliptične orbite, kada je Zemlja najbliža Suncu, svetlost putuje 8,1 minut, a kada je najdalja, 8,45 minuta.

Koja je razlika između zvezda i planeta?

Na prvi pogled, razlika je jasna, očigledna: zvezda je samosvetleće nebesko telo koje ne pripada sunčevom sistemu (osim Sunca). Planeta je nebesko telo u orbiti oko Sunca i ne emituje svetlost. Ali, da li je baš tako?

Planete ipak svetle, zrače u infracrvenoj svetlosti jer su njihove temperature znatno niže od zvezda, zbog čega su slabo vidljive. Zemlja u prostor zrači svetlost koja se infracrvenom kamerom može detektovati iz svemira. Slično je i sa ostalim planetama Sunčevog sistema. Pomenimo da planete sijaju i usled refleksije svetlosti zvezde oko koje se okreću. Intenzitet odbijanja svetlosti zavisi od njihovog sastava.

Koliko će Sunčev sistem živeti, postojati, koliko dugo ćemo se radovati sunčevim zracima, šta će biti nakon toga?

Sunce je rođeno pre oko 5 milijardi godina, a ubrzo nakon toga i planete koje se oko njega okreću. Smatra se da je naša zvezda na polovini svog postojanja, kako to obično kažu, u srednjem, najlepšem životnom dobu (slika 45). Sunce je, kada je rođeno, bilo oko 20 puta veće nego danas. Vremenom se smanjivalo i stabilizovalo na oko 70% svoje današnje veličine. Međutim, to neće biti uvek tako. Već koliko „sutra”, za oko milijardu godina, procesima fuzije i oslobađanja ogromne količine energije, veličina, sjaj i temperatura Sunca postepeno će se povećavati. Ova promena ugroziće opstanak života na Zemlji. Klima će biti znatno toplija, okeani,



Slika 45. Evolucija Sunca

mora, jezera i reke će ispariti, a veliki deo flore i faune biće uništen na našoj planeti. Nestaće život kakav poznajemo, a to izaziva zebnju, neizvesnost pa čak i strah.

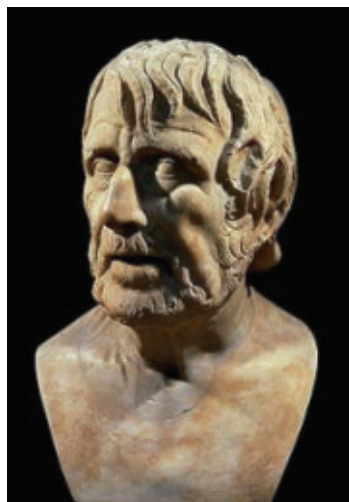
To nije sve! Za oko 5 milijardi godina, temperatura Sunca biće veća za oko 40% nego sada jer će nuklearnom fuzijom sav vodonik preći u helijum. Ostaće samo „mala količina” u spoljnim delovima Sunca koja je „jedva” gravitaciono vezana sa jezgrom.

Procesima fuzije za oko 6 milijardi godina, naša zvezda će se povećati za oko 30 puta i postati crveni džin sa nižom spoljnom temperaturom nego danas, slično zvezdi Arktur. U delu bližem Suncu, gde su terestrične planete, među njima i naša Zemlja, temperature će dostići 2500 K, pretvarajući ove planete u kugle magme. Venera će biti „progutana”. Kako Sunce raste, gubi deo mase, orbite planeta se menjaju, proširuju.

Da bismo pružili nešto utehe, vredi spomenuti i pozitivnu stranu. Kada naše Sunce postane crveni džin, otopiće najbliže gasovite, trenutno zamrznute planete, uključujući i satelite Jupitera i Saturna. Ako ljudi prežive, mogu naći novi dom na njima, i nadajmo se, nove „normalne” uslove za život. Naše Sunce će vremenom (oko 13 milijardi godina) postati beli patuljak, koji će dugo sijati. Sunčev sistem postaće vrlo hladan. (Brr, brr, ne volim zimu, mada je redovno prizivam u julu i avgustu kada sam na terenu bez hlada i, naravno, flaše vode koju sam zaboravio u kolima.) Ipak, tužna je i gorka činjenica da jednoga dana neće biti Sunca i života na Zemlji.

I da sumiramo. Važno je i lepo poznavati Sunce sa kojim „plovimo” sa zvezdama oko nas. U pravu ste. Još uvek ima otvorenih pitanja na koja nemamo odgovore za dobrobit i radost novih znanja i saznanja. Citirajmo i velikog Seneku (Lucius Annaeus Seneca; slika 46), koji je pre skoro 2000 godina, napisao:

„Doći će vreme kada će pomna istraživanja, sprovedena tokom dugih razdoblja, izneti na svetlost dana stvari koje su sada skrivene. Jedan životni vek, čak i kad bi potpuno bio posvećen nebu, ne bi bio dovoljan da se izuči tako ogroman predmet... Stoga će se to znanje steći tek posle dugog niza epoha. Doći će vreme kada će naši potomci biti zapanjeni činjenicom da mi nismo znali stvari koje su njima same po sebi jasne. Mnoga otkrića biće sačuvana za buduća razdoblja, kada spomeni na nas već budu izbledeli. Naš svet bio bi turoban i ništavan da svaka epoha ne nudi nešto novo za istraživanje. Priroda ne otkriva svoje tajne odjednom i svima.”



Slika 46.
Lucius Annaeus Seneca

Hoćemo li dokučiti deo tajni prirode koja nas je stvorila? Smisao i lepota rada, stvaranja i saznanja su put za naš opstanak. Tako je bilo, tako će i biti. Za nas i generacije koje dolaze!

II.3 PLANETE

Planeta je nebesko telo koje se nalazi u orbiti oko Sunca i ima dovoljnu masu da sopstvenom gravitacijom nadvlada silu drugih tela koje je „počistila” u prostoru duž svoje orbite. Planete su najveća tela Sunčevog sistema, ali sve zajedno čine samo 0,135% mase Sunca i okreću se oko njega po približno kružnim putanjama, **orbitama**. Vreme koje je potrebno planeti da obiđe celu orbitu, tj. napravi pun krug oko Sunca naziva se godina.

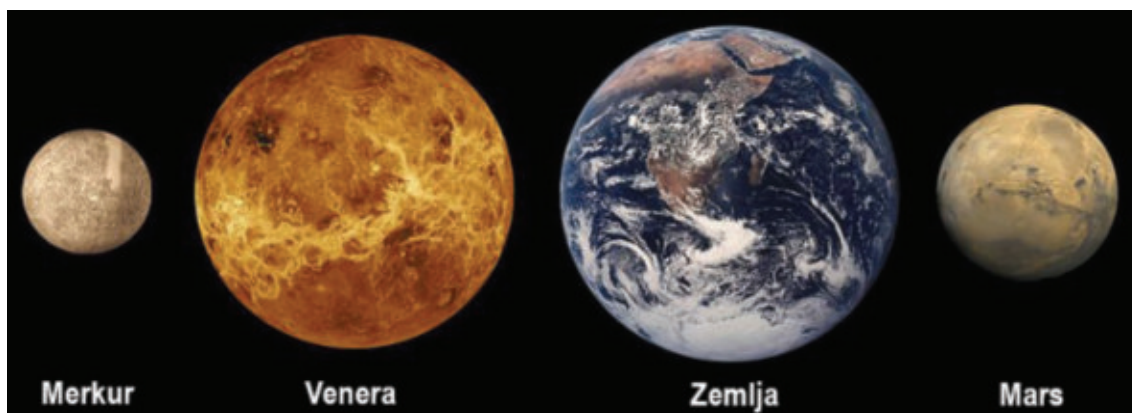
Većina orbita je gotovo kružna, ekscentričnosti putanja su vrlo male. Izuzetak su Merkur i Pluton (koji se smatra patuljastom planetom), čije su orbite naglašeno eliptične u odnosu na ostale planete. Nagib putanja prema ekliptici je za sve planete približno isti, osim za Pluton. Prema sastavu i položaju u odnosu na Sunce, planete se dele na **unutrašnje, terestrične** (stenovite), koje su bliže Suncu, i **spoljašnje, gasovite**, koje su dalje od Sunca. Između njih je asteroidni pojas (slika 47).



Slika 47. Unutrašnje i spoljašnje planete Sunčevog sistema; napomena: veličina i rastojanje planeta, kao i rastojanje od Sunca, radi preglednosti, nisu u srazmeri

Unutrašnje, stenovite ili terestrične (*terra*, lat. „zemlja”) planete su male i izgrađene su od samorodnih elemenata, **Fe, Co, Ni**, sulfida, oksida, silikata, jedinjenja silicijuma, kiseonika, gvožđa, magnezijuma, aluminijuma, kalcijuma, natrijuma, kalijuma i drugih elemenata. Zbog toga imaju veliku gustinu i čvrstu stenovitu površinu. U terestrične planete spadaju Merkur, Venera, Zemlja i Mars (slika 48).

Terestrične planete brzo rotiraju oko Sunca i imaju mali broj satelita, ili ih uopšte nemaju. Jezgra terestričnih planeta su uglavnom od gvožđa, oko koga su ljuške, omotači i kora od silikata, oksida i karbonata. Nastale su u blizini Sunca tokom prvih 100 miliona godina stvaranja naše zvezde. Zbog blizine Suncu nisu mogle da zadrže vodonik i helijum jer je visoka temperatura omogućila gasovima da nadvladaju gravitaciju Sunca i „pobegnu” u svemir. Sunčeve oluje, visoko energetske čestice i zračenje takođe su uticale na „odlazak” gasova od naše zvezde i terestričnih planeta. Zadržao se samo manji deo, od koga su stvorene njihove atmosfere.



Slika 48. Unutrašnje, terestrične planete Sunčevog sistema

Spoljašnje, gasovite planete su „džinovi”, izgrađeni uglavnom od gasova, elemenata i jedinjenja vodonika, helijuma i ugljenika u različitim agregatnim stanjima. U gasovite planete spadaju Jupiter, Saturn, Uran i Neptun (slika 49).



Slika 49. Spoljašnje, gasovite planete Sunčevog sistema

Spoljašnje planete imaju brzu rotaciju i veliki broj satelita. Veće su i do više desetina puta od terestričnih planeta i imaju manju gustinu (slika 50).

Gasovi u spoljašnjim planetama su pod ogromnim pritiscima i veoma niskim temperaturama, zbog čega su uglavnom u čvrstom ili tečnom stanju.

Jezgra gasovitih planeta su mala u odnosu na njihovu veličinu i izgrađena od metala ili silikata. U Sunčevom sistemu, najmanja terestrična planeta je Merkur, a najveća gasovita planeta Jupiter.

Proučavanje Sunčevog sistema ukazuje na to da nijedno telo u njemu nema istu istoriju stvaranja. Planete imaju mnogo zajedničkih osobina, ali sa specifičnom istorijom stvaranja. Zemlja je jedina planeta sa okeanima, atmosferom koja nosi kiseonik i žive organizme, ali je to i jedina planeta sa aktivnom tektonikom ploča. U tekstu koji sledi, opisaćemo nastanak i razvoj planeta Sunčevog sistema.



Slika 50. Odnosi veličina unutrašnjih i spoljašnjih planeta Sunčevog sistema

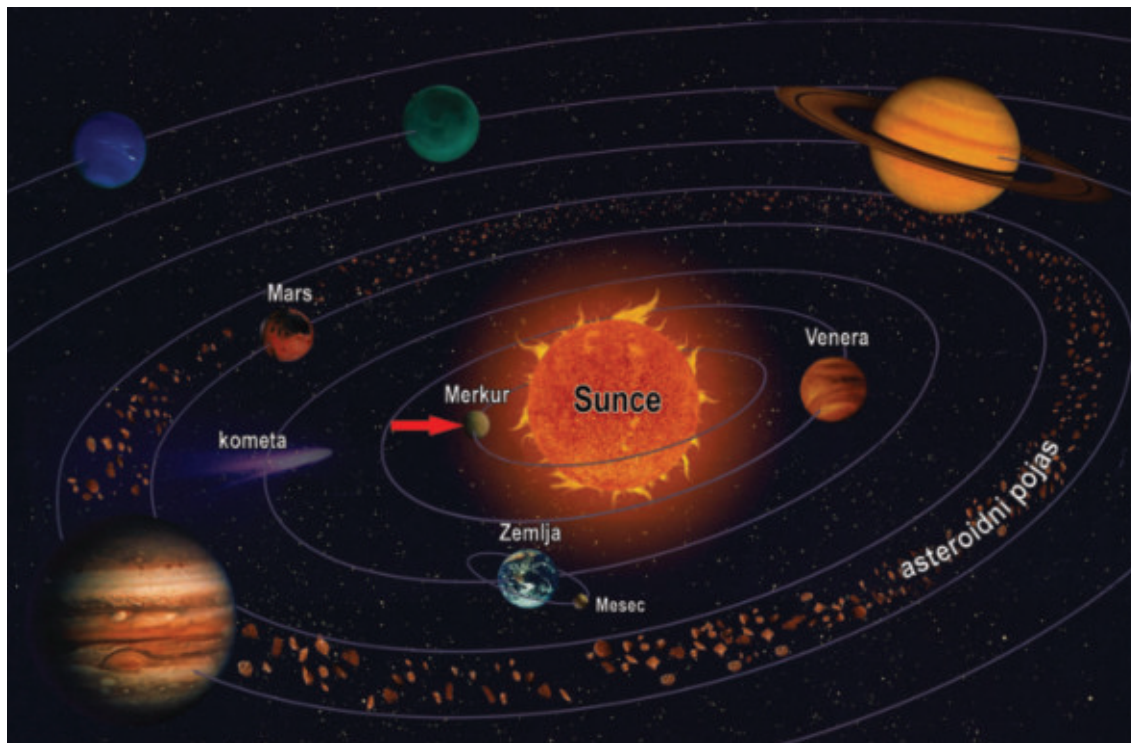
II.3.1 UNUTRAŠNJE, TERESTRIČNE PLANETE

Narastanje terestričnih planeta smatra se hijerarhijskim, uz radijalno mešanje u unutrašnjem delu solarne nebule. Terestrične planete su male mase, kratkih orbita i velike gustine u odnosu na spoljašnje planete, svaka sa svojom istorijom stvaranja. Položaj planeta, udaljenost od Sunca uticali su na njihov sastav i evoluciju atmosfere. Rotacija, gravitaciona i magnetna polja ukazuju na to da su njihova jezgra bogata gvožđem, koje je najvećim delom u tečnom stanju. Svaka planeta se razvijala zavisno od količine toplote koju je imala, ali i od toplotne i tektonske aktivnosti. U terestrične planete spadaju Merkur, Venera, Zemlja i Mars.

II.3.1.1 MERKUR

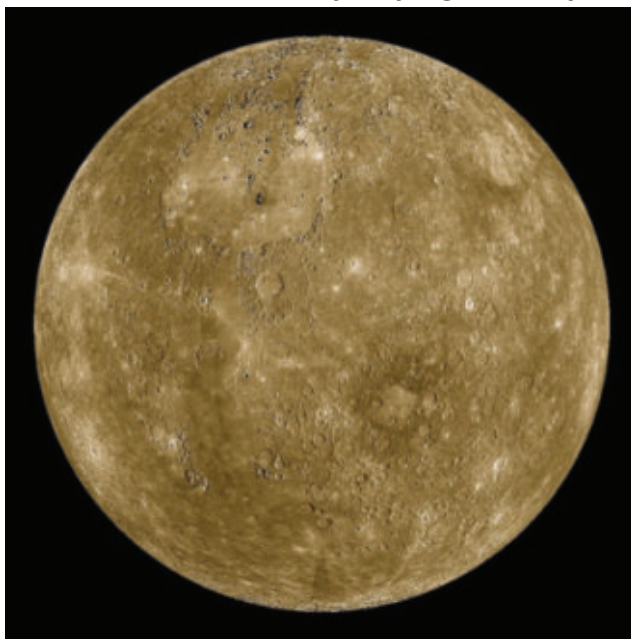
Merkur je terestrična planeta najbliža Suncu (slika 51). Ime je dobio po glasniku bogova u rimskoj mitologiji, hitronogom Merkuru, koji je nosio sandale sa krilima, sa kojima je mogao brzo da putuje. Ova planeta je oko dva puta bliža Suncu nego Zemlja, zbog čega je intenzitet Sunčevog zračenja znatno veći. Merkur krasi mnoge odlike sa prefiksom „naj”: najmanja terestrična planeta u Sunčevom sistemu, najbliža Suncu, planeta sa najekscentričnijom orbitom, sa najmanje nagnutom osom rotacije, najvećim jezgrom u odnosu na veličinu i najbrže se okreće oko Sunca.

Površina Merkura slična je površini Meseca, koji je i slične veličine. Izbrzdana je kraterima usled snažnih udara kometa, asteroida, meteorita tokom i ne-



Slika 51. Položaj Merkura (označen crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu; napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

posredno nakon njegovog nastanka (slika 52). Planeta već dugo geološki miruje. Pokrivena je komadima različitih vrsta magmatskih stena (?) i prašinom koji su nastali udarima meteorita. Na površini Merkura ima grebena koji se protežu i do nekoliko stotina kilometara. Smatra se da su nastali hlađenjem jezgra kada je na površini već bila formirana tanka kora. Najveća visina iznad prosečne, nulte, tačke na Merkuru je 4,48 km i nalazi se južno od ekvatora, a najniža 5,38 km ispod prosečne visine je u basenu Rahmanjinov. Na Merkuru je i najveći krater u Sunčevom sistemu, basen Kaloris, prečnika preko 1500 kilometara. Na ovoj planeti ima i zaravni sličnih mesečevim morima. Verovatno su izlivi bazaltnih lava. Merkur ima veoma malu masu i visoke temperature, zbog čega njegova gravitacija ne može da zadrži veći deo atmosfere. Jedan njen deo potiče od Sunčevog



Slika 52. Površina Merkura



Slika 53. Odnos veličina Merkura (levo) i Zemlje (desno)

vetra čije su čestice zarobljene magnetnim poljem, ostatak su gasovi sa same planete, iz vodenog leda na polovima, radioaktivnog raspadanja minerala kojih ima u Merkurovoj stenovitoj kori. U Merkurovoj atmosferi najviše ima kiseonika (42%), natrijuma (29%), vodonika (22 %) i helijuma (6%). Pomenuti sadržaji variraju zavisno od aktivnosti Sunca. Iako je Merkur mala planeta i planeta veoma spore rotacije, njegovo magnetno polje je značajno i ima globalni karakter. Verovatno je generisano dinamo efektom, za koji je neophodno tečno jezgro od gvožđa. Merkur je planeta sa najvećim ekscentricitetom orbite u Sunčevom sistemu. Udaljenost od Sunca se kreće između 46 i 70 miliona kilometara.

Merkur ima prečnik od 4879 kilometara, što je polovina prečnika Zemlje (slika 53). Da se nalazimo na Merkuru, zbog manje sile gravitacije, bili bismo dvostruko lakši, pa je za neke od nas, a naročito dame, ovo „obećana” planeta.

Merkur oko Sunca okrene pun krug za 88 zemaljskih dana, koliko traje i njegova godina. Dan, međutim, traje mnogo duže. Ako stojite na površini Merkura, od jednog izlaska Sunca do drugog, tj. da planeta napravi pun krug oko sebe, čekaćete 116 zemaljskih dana, što na Zemlji traje 24 sata. Ovakav odnos gde je dan duži od godine, za nas Zemljane jeste neobičan.

Merkur je slojevite građe (slika 54). Izgrađen je od jezgra, prečnika 1800 km, najvećim delom od gvožđa, koje čini 85% prečnika Merkura, što ovu pla-

netu čini „gvozdenom”. Još uvek je otvoreno pitanje da li je, i koji deo, u čvrstom ili tečnom stanju. Moguće je i prisustvo sloja sa gvožđe-sulfidom, zbog čega je i velike gustine – $5,427 \text{ g/cm}^3$, ali još uvek nešto manje od Zemljine ($5,515 \text{ g/cm}^3$). Oko jezgra je omotač debljine od 500 do 700 km, izgrađen uglavnom od silikata, a kora, kao spoljni deo, takođe je izgrađena od silikata, a njena debljina je između 100 i 300 km. Smatra se da je Merkur nastao iz Solarne nebule sa visokim sadržajem teških elemenata, dok je lakše elemente „raspršio” Sunčev vetar dok je Sunce bilo u fazi protozvezde. Druga mogućnost je da je ova planeta pretrpela snažan sudar sa drugim svemirskim telom, nakon čega je ostala bez stenovitog omotača. Na površini Merkura su surovi uslovi. Visoke temperature uzrokovane su blizinom Sunca, odsustvom atmosfere i sporom rotacijom.

Površina Merkura je slična Mesečevoj, sa puno kratera i depresija, „jezera” zapunjenih tokovima lava. Mapiranjem Merkura na polarnim kraterima utvrđeno je postojanje leda, što je iznenađenje, ako se ima u vidu da je ova planeta najbliža Suncu. Na obasjanoj strani Merkura, kada je najbliži Suncu (perihel), temperatura je tokom dana, na ekvatoru 430 K, a kada je najudaljeniji (afel) „samo” 280 K. Noći su hladne, do 170 K, jer ne postoji atmosfera koja bi preraspodelila toplotu između strana okrenutih Suncu i onih u senci. Ovo su najveće temperaturne razlike među planetama Sunčevog sistema. Zbog toga je verovatno da je Merkur i bez vode i vetra i da nema erozije.

Iako su dnevne temperature na površini Merkura izuzetno visoke, na osnovu snimaka sa sonde i radarskim osmatranjima utvrđeno je postojanje zamrznute vode, koja se nalazi u dubokim kraterima na polovima, koji nikada nisu pod direktnim Sunčevim zracima. Smatra se da je led nastao degasifikacijom iz unutrašnjosti planete ili je donet kometama. Merkur ima najmanji nagib prema Suncu, oko trideseti deo stepena, zbog čega na ovoj planeti nema godišnjih doba. Orbita mu je ekscentrična. U afelu (kada je najudaljeniji) Merkur je 1,5 puta dalji od Sunca u odnosu na perihel, kada je najbliži.

Merkur nije lako posmatrati jer je „mali” i blizu Sunca. Orbita mu leži u ravni sa orbitom Zemlje, zbog čega je Merkur moguće osmatrati tokom svitanja i sumraka ili kod potpunog pomračenja Sunca, kada se znatno bolje vide i ostale planete. Najpovoljnije tačke za posmatranje sa Zemlje su u tropskim i suptropskim područjima.

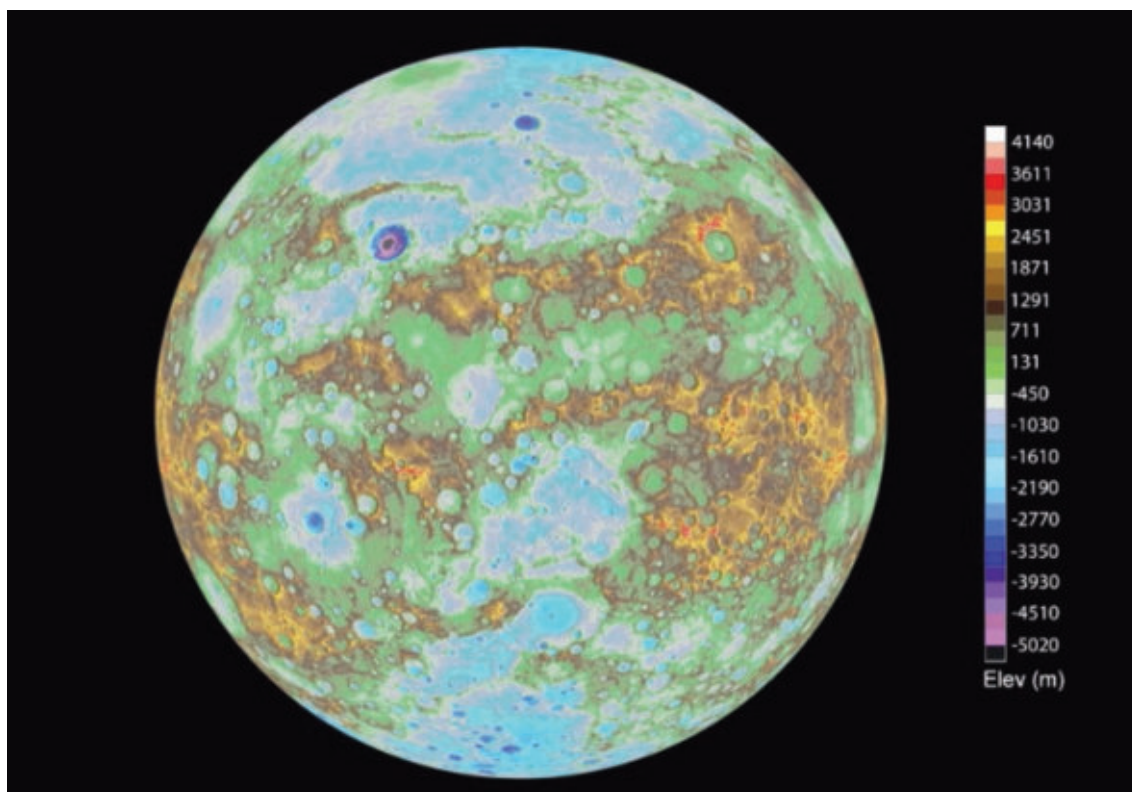


Slika 54. Građa Merkura

Mikrotalasno i infracrveno zračenje reflektovano sa površine Merkura pokazuje veoma visok albedo, koji nije u skladu sa prisustvom bazalta već sa „belim” anortozitom.

Svemirski brod „Mariner 10” posetio je Merkur i poslao veliki broj podataka, na osnovu kojih smo mnogo saznali o ovoj planeti.

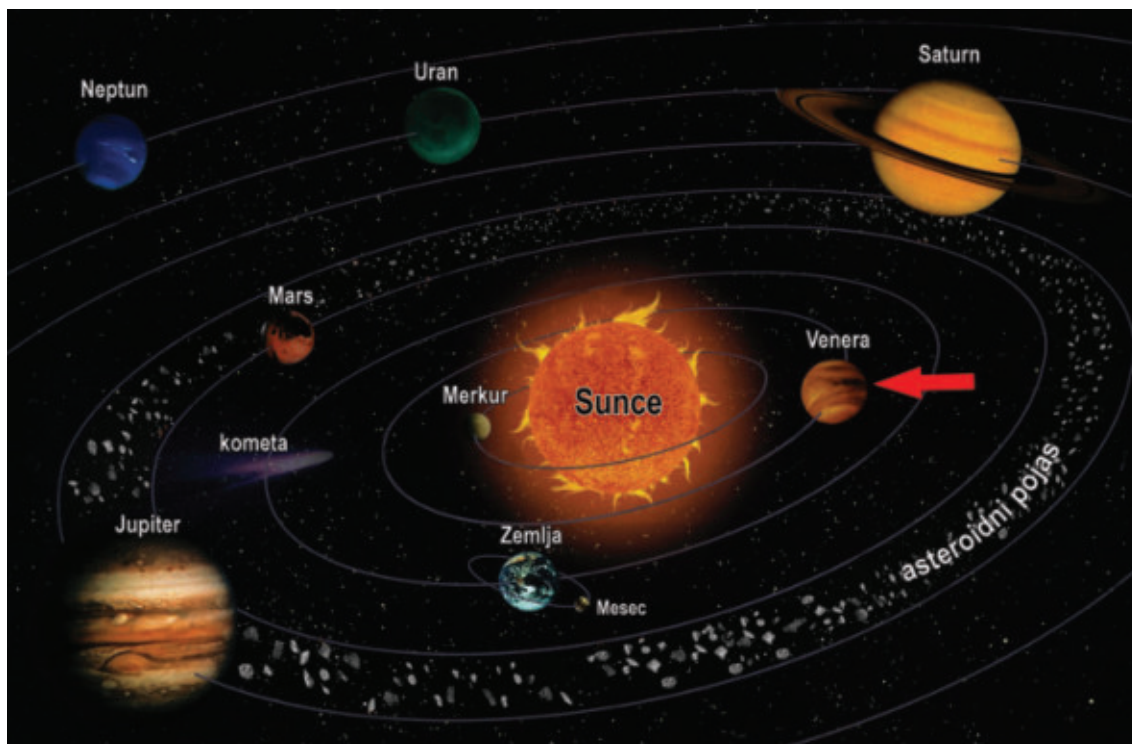
Početkom maja 2016. godine NASA je objavila prvu globalnu topografsku mapu planete Merkur (slika 55), gde je upotrebljeno više od 100.000 fotografija koje je napravila sonda „Mesindžer”. Površina Merkura mnogo je heterogenija nego što se to ranije mislilo.



Slika 55. Površina Merkura dobijena na osnovu snimaka letilice „Mesindžer”

II.3.1.2 VENERA

Venera je druga planeta od Sunca, a šesta po masi i veličini među ostalim planetama Sunčevog sistema (slika 56). Poznata je i kao zemljina „sestra” jer je slične veličine i neposredni sused, udaljena „samo” 40 miliona kilometara. Ime je dobila po starorimskoj boginji ljubavi i lepote Veneri (u Grčkoj je to Afrodita) i jedina je planeta koja je dobila ime po ženskom mitološkom božanstvu. Astronomski simbol Venere, kružić sa krstićem ispod, u biologiji je simbol za ženski rod. U svojoj orbiti nema prirodnih satelita.

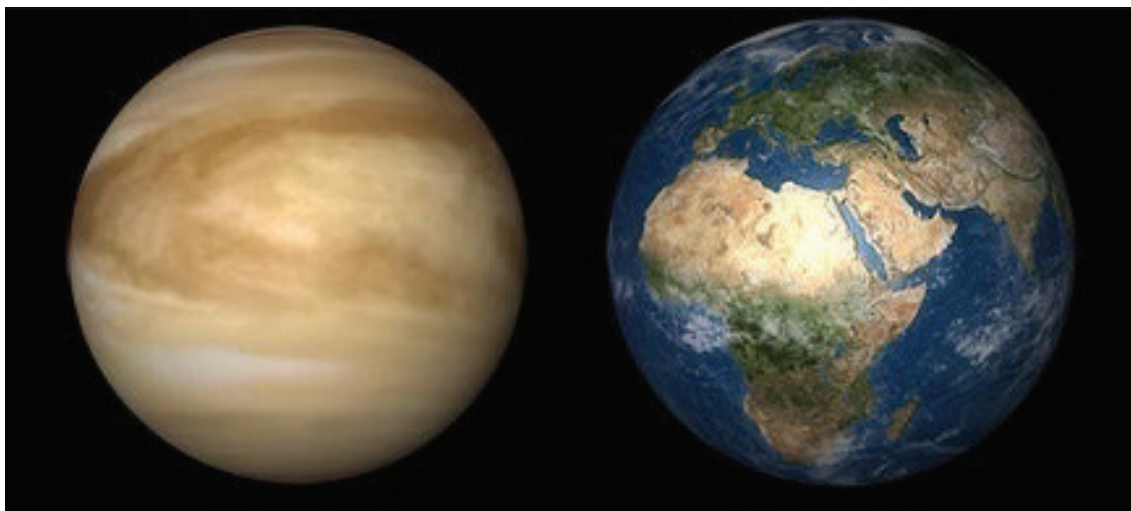


Slika 56. Položaj Venere (označena crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu; napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

Venera se oko Sunca okreće gotovo kružnom orbitom, na prosečnoj udaljenosti od oko 108.200.000 km. Rotaciju napravi za 224,7 zemaljskih dana, što je jedna Venerina godina.

Venera se oko svoje ose okrene za 243 zemaljska dana i to u suprotnom smeru od Zemlje, verovatno usled sudara sa drugim nebeskim telom ili planetezimalama, embrionima u njenoj ranoj fazi stvaranja. To je najsporija rotacija među planetama Sunčevog sistema. To znači da jedan dan na Veneri traje duže nego godina. Osa rotacije je nagnuta svega 3,39 stepeni pa na ovoj planeti ne postoje godišnja doba. Svakih 19 meseci Venera na svome putu prođe između Zemlje i Sunca. Gledano

sa Zemljinog severnog pola, sve planete u Sunčevom sistemu okreću se oko Sunca u smeru suprotnom kretanju kazaljke na satu, osim Venere i Urana, koji se okreću suprotno, u smeru kretanja kazaljke na satu. Zato Sunce na Veneri i Uranu izlazi na zapadu, a zalazi na istoku. Ova „čudna” rotacija oko Sunca (revolucija) objašnjava se sudarom Venere sa nekim velikim telom u davnoj geološkoj prošlosti ili je moguće da ova planeta nije bila član Sunčevog sistema, već ju je naša zvezda gravitacijom „zarobila i primorala” da bude i ostane sa nama.



Slika 57. Odnosi veličina: Venera (levo) i Zemlja (desno)

Venera je veličine kao i Zemlja: prečnik Venere je 12.092 km, samo 650 km manje od prečnika naše planete, tj. prečnik Venere je 0,95 Zemljinog prečnika. Slično tome, masa Venere je 0,8 Zemljine mase, gustina Venere 0,95 gustine Zemlje, gravitacija Venere 0,9 Zemljine gravitacije itd. (slika 57).

Po sastavu i veličini atmosfere, međutim, Venera se značajno razlikuje od Zemlje. Veoma je gusta. Otkrio ju je ruski naučnik Mihail Lomonosov, 6. juna 1761. godine (slika 58), posmatrajući njen prolazak preko sunčevog diska. Ovo je izuzetno retka pojava i desila se samo tri puta od posmatranja Lomonosova do danas. Venerina atmosfera je izgrađena najvećim delom od ugljen-dioksida (96,5%), azota (3,5%) i veoma malo sumpor-dioksida, argona, vodene pare, ugljen-monoksida, helijuma i neona. Vodonik je takođe veoma redak, smatra se da je otišao u svemir. Ukupna zapremina venerine atmosfere je oko 93 puta veća od Zemljine. Visok sadržaj ugljen-dioksida uzro-



*Slika 58. Mihail Lomonosov
(1711–1765)*

kuje atmosferski pritisak koji je i do 92 puta veći nego na Zemlji (kao da ste jedan kilometar ispod površine vode), zbog čega objekti koji u nju ulaze toliko usporavaju da se po dolasku na površinu planete spuste bez udara. Ovaj gas je prozračan za sve vidljive i ultraljubičaste zrake, ali apsorbira toplotno, odnosno infracrveno zračenje zadržavajući najveći deo Sunčevog toplotnog zračenja i stvarajući „efekat staklene bašte”. Zbog toga je prosečna temperatura na površini Venere oko 467 °C, veća i od dnevne temperature na Merkur, koji je bliži Suncu. To je najviša temperatura među planetama Sunčevog sistema. I da se nalazite na Veneri, bili biste otrovani, spljeskani i sprženi, nije važno kojim redom. To je mesto strašnije od biblijskog pakla.

Smatra se da je vulkanska aktivnost na Veneri verovatno omogućila gomilanje ogromnih količina ugljen-dioksida u atmosferi. Veruje se da su na Veneri postojali okeani, koji su verovatno isparili usled povećanja temperature uzrokovanih efektom staklene bašte. Venerina atmosfera je pre oko 4 milijarde godina verovatno bila kao što je danas na Zemlji, na osnovu čega se pretpostavlja da je na ovoj planeti bilo i tekuće vode.

Atmosfera Venere je, prema sastavu, podeljena u više slojeva. Troposfera čini oko 99% ukupne mase atmosfere i proteže se od površine do 65 km visine i najgušći je deo Venerine atmosfere (slika 59). Najveći sadržaj gasova nalazi se u pojasu od površine do 28 km visine.

Temperatura i pritisak opadaju sa udaljavanjem od površine Venere. Na visinama od oko 50 km, tropopauzi, granici između gornje troposfere i donje mezosfere, atmosferski pritisak je kao na površini Zemlje. Ovde je temperatura vazduha od 20 do 37 °C, te u njemu može biti i nekog oblika života.

Vetrovi na ovoj planeti, uz „debelu” atmosferu, „obezbeđuju” približno istu temperaturu tokom dana i noći. Zanimljiva su njihova kretanja i brzine. Duvaju u obrnutom smeru od rotacije ove planete, dok se brzine naglo smanjuju ka višim geografskim širinama, pa na polovima nema vetra. Vazdušne struje obiluju pun krug pre nego što se izvrši puna rotacija Venere.

Oblaci u venerinoj atmosferi su „debeli” i izgrađeni od sumpor-dioksida i sumporne kiseline, koji reflektuju preko 75% ukupnog Sunčevog zračenja koje pada na ovu planetu, stvarajući efekat zamagljenosti, koji otežava posmatranje njene površine. Zbog oblaka je i mala količina Sunčevih zraka koji dopiru do površine Venere, pa je vidljivost oko 3 km. Svetlost na površini Venere je, zbog adsorpcije, narandžaste boje.

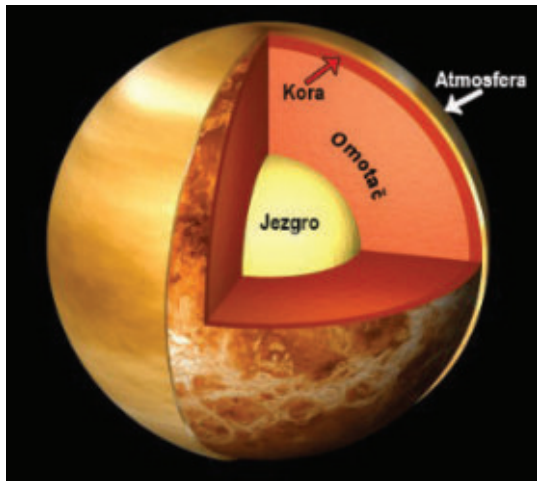
Zbog slične veličine i gustine sa Zemljom, smatra se da Venera ima i sličnu



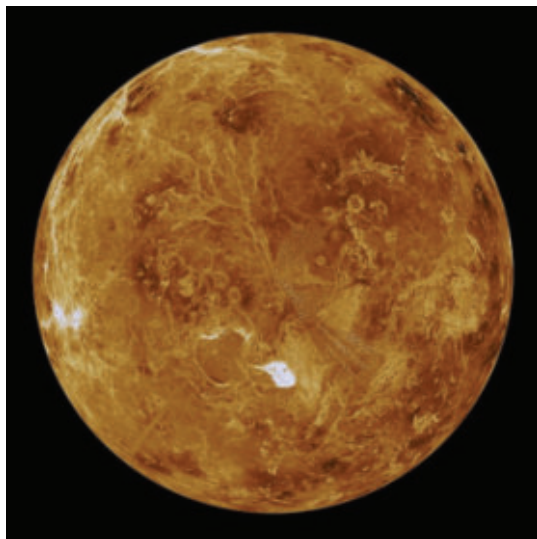
Slika 59. Atmosfera Venere

unutrašnju građu (slika 60). U njenom središnjem delu je jezgro, iznad omotač, i kora. Podaci su dobijeni, najvećim delom, na osnovu seizmičkih aktivnosti.

Jezgro Venere je prečnika oko 3000 km i verovatno je čvrsto, delom i polutečno. Izgrađeno je najvećim delom od gvožđa. Oko njega je polutečni (?) omotač od silikata, koji gradi najveći deo zapremine planete.



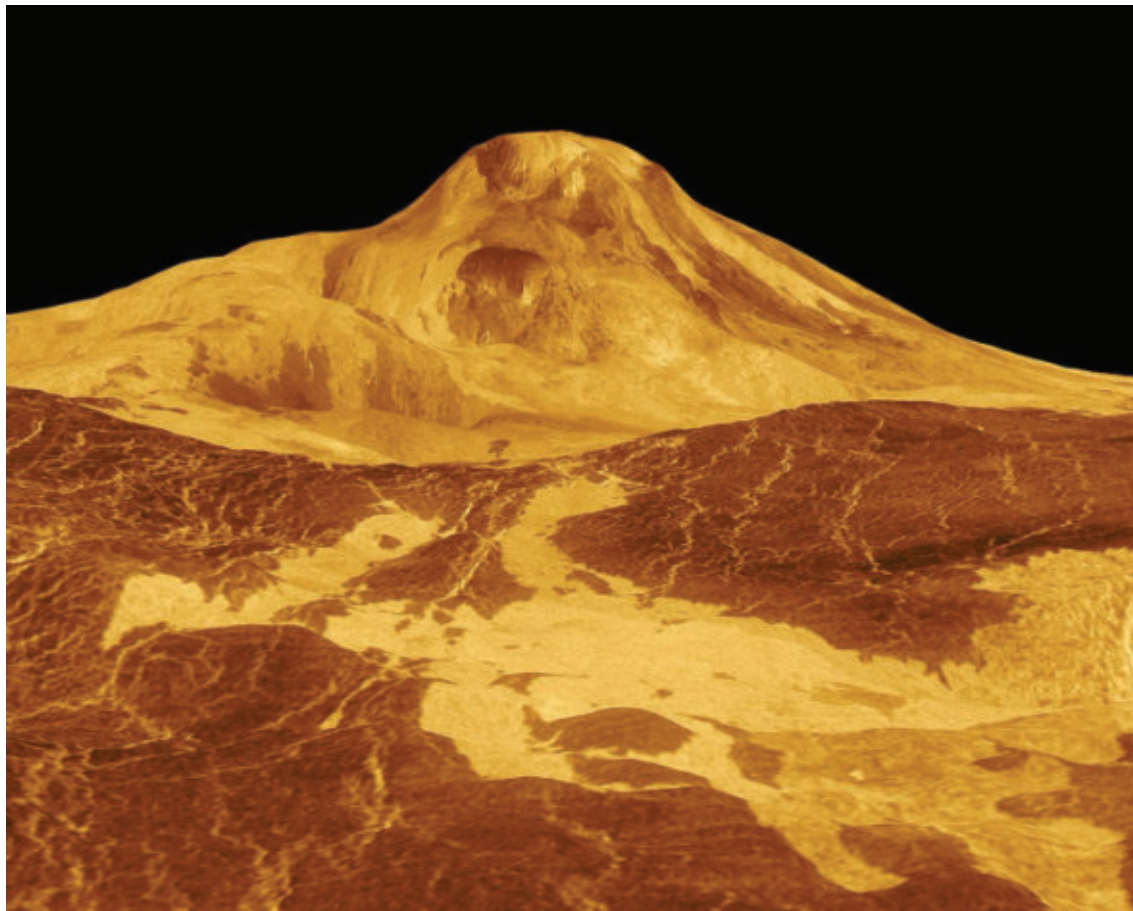
Slika 60. Struktura Venere



Slika 61. Površina Venere

Iznad je kora debljine od 25 do 160 km, koja je deblja od Zemljine. Izgrađena je uglavnom od magmatskih stena. Smatra se da je gornji deo kore na Veneri star između 300 i 600 miliona godina i da na ovoj planeti nema kretanja tektonskih ploča kao na Zemlji. Površina Venere podseća na zaravnjena, suva pustinjska područja iznad kojih se uzdižu vulkanska uzvišenja, blokovi, ploče. Pomenimo da reljef na Veneri, odlukom Međunarodne astronomske unije, dobija ženska imena. Postoji nekoliko izuzetaka jer su nazivi dati pre donošenja odluke Unije. Na površini Venere (slika 61) su i specifični morfološki oblici: zvezdaste pukotine, prstenaste depresije, rasedi i vulkanska uzvišenja prečnika 20 i 50 km sa zaravnjenim, ugladenim vrhovima visine od 100 do 1000 m. Tu su i dve velike visoravni. Prva je Severni kontinent, veličine Australije, gde se nalazi i planinski lanac Maksvelove planine (engl. *Maxwell Montes*), koji je 11 km iznad prosečne površinske visine. Druga visoravan je Južni kontinent, koji odgovara površini Južne Amerike. Na ovoj planeti do sada je otkriveno 167 vulkana, neki

od njih su verovatno i aktivni. Najveći vulkan je Maat Mons, visok 8 km (slika 62), sa prstenastom strukturom, prečnika 280 km. Tu su i „neobični” vulkani kakvih nema na Zemlji. Imaju oblik pauka, sa središnjom depresijom i radijalnim grebenima i dolinama. Površina ove planete prekrivena je i meteorskim kraterima prečnika do 300 km, od kojih je većina erozijom „netaknuta”. Na našem satelitu Mesecu i Zemlji, krateri su, međutim, erodovani zbog udara drugih meteora (na Mesecu), ili zbog erozije (na Zemlji). Kako su uslovi na Veneri drugačiji, verovatno je samo vulkanska aktivnost „razorila” starije kratere. Venera nema magnetno polje, verovatno zbog spore rotacije ili odsustva konvekcionih kretanja u jezgru.



Slika 62. Maat Mons vulkan na Veneri

Sjajnost Venere je uzrokovana njenom debelom, gustom atmosferom, koja odbija Sunčevu svetlost. Posmatrano sa Zemlje, Venera može da bude toliko sjajna da se vidi i tokom dana. Zbog toga je kretanje Venere bilo poznato većini drevnih civilizacija. Venera se najbolje vidi u ranu zoru ili u sumrak, zbog čega se u narodu naziva Zvezda Danica ili Zvezda Večernjača. Po sjaju na noćnom nebu, gledano sa Zemlje, odmah je iza Meseca pa je sa pravom nazivaju „kraljicom neba”. Pošto se Venerina orbita nalazi unutar Zemljine, i ona, kao i Merkurova, pokazuje smenu faza, što je ustanovio i italijanski astronom Galileo Galilej. Posmatrano sa Zemlje, osvetljenost Venere na putu oko Sunca varira zavisno od njenog položaja u odnosu na Sunce i Zemlju. Tako Venera ima mene slične Mesecu. Veneru je od 1990. do 1994. godine istraživala svemirska letelica „Magelan” (slika 63), koja je snimila površinu ove planete kroz njenu gustu atmosferu, što je bio veliki pomak u njenom poznavanju. Tada je urađena topografska karta oko 70% Venerine površine i sakupljeni su podaci tokom njenog potpunog obilaska oko Sunca.



Slika 63. Svemirska letilica „Magelan”

II.3.1.3 ZEMLJA

Zemlja je treća planeta po udaljenosti od Sunca (slika 64). Smer okretanja naše planete oko Sunca suprotan je kretanju kazaljke na satu. Gledano od severa ka jugu, smer rotacije Zemlje odgovara pravcu rotacije Sunca oko svoje ose.

Zemlja kruži oko Sunca brzinom od 106.000 km/čas na srednjoj udaljenosti od 149,6 miliona km.

Sunce je glavni izvor toplotne energije i svetlosti koja dolazi na površinu Zemlje i omogućava život kakav poznajemo. Temperatura sunčeve svetlosti opada sa udaljenošću koju ta svetlost putuje. Od Sunca do Zemlje svetlost putuje oko osam minuta.

Naša planeta napravi jedan krug oko Sunca za 365 dana, 6 časova, 9 minuta i 54 sekunde, koliko traje njena godina. Pošto na Zemlji godinu računamo kao 365 dana, svake četvrte godine imamo prestupnu godinu, koja ima 366 dana, kada februar ima 29 dana. Dan traje 24 sata, što je vreme potrebno da se Zemlja okrene oko svoje ose za pun krug. Za to vreme, na polovini Zemlje okrenutoj Suncu je dan, a na drugoj polovini je noć.

Zemljina osa je pod nagibom od 23,5°, što uzrokuje veće zagrevanje i duže trajanje dana na severnoj ili južnoj hemisferi tokom godine, zbog čega na našoj planeti ima godišnjih doba koja se naizmenično smenjuju. Pomenimo i ekscentričnost Zemljine orbite, koja se menja od 0 do 6% u periodu od 100.000 godina, što dodatno menja, modifikuje količinu energije koju Zemlja dobija od Sunca.

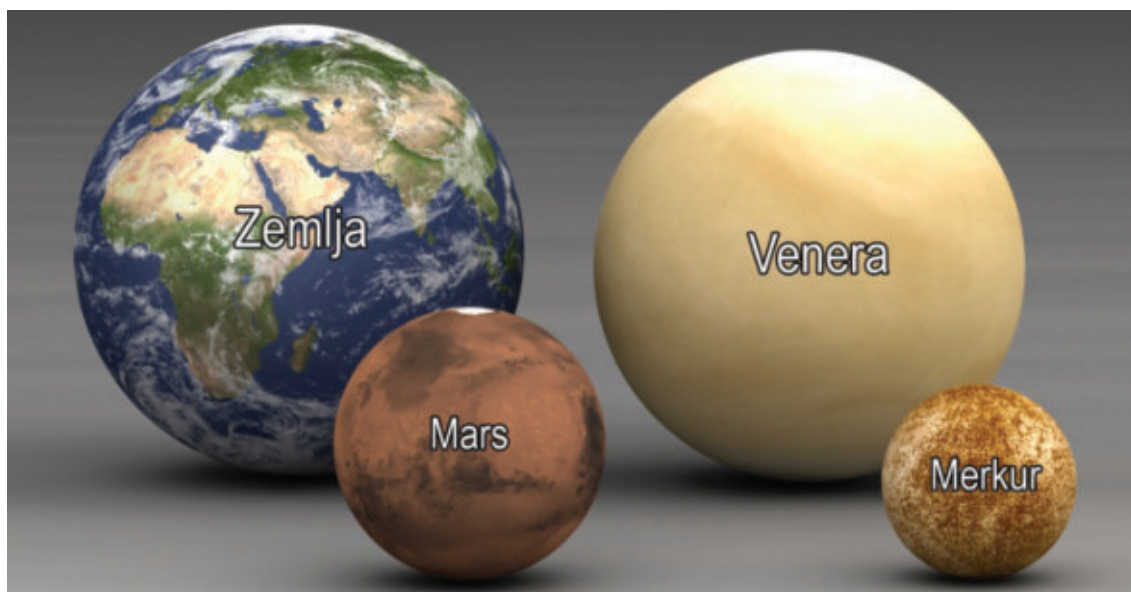


Slika 64. Položaj Zemlje (označen crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu; napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

Podsetimo se da teorija Milutina Milankovića o promeni položaja ose Zemljine orbite objašnjava promenu klime na našoj planeti i korelaciju sa ledenim dobima, pa ih možemo i predvideti.

Zemlja je najveća terestrična planeta (slika 65), a među njima ima i najveću gustinu, silu gravitacije i najjače magnetno polje.

Naša Zemlja izgrađena je od **Fe, Co, Ni, Mg, Ca, Si, Al, Na, O, Na, K** itd. Oni grade silikate, sulfide, karbonate, sulfate itd. ili se javljaju kao samородni ele-



Slika 65. Međusobni odnos veličina terestričnih planeta

menti i glavni su sastojci stena, minerala ili ruda na našoj planeti. U grupi terestričnih planeta su i ostale unutrašnje planete Sunčevog sistema, Merkur, Venera i Mars, koje su sličnog hemijskog i mineralnog sastava, ali različitih veličina (slika 65).

Merenjima je utvrđeno da Zemlja nije savršena sfera, lopta, već ima oblik geoida koji je sličan troosnom rotacionom elipsoidu. Rotacijom Zemlje na ekvatoru stvorena su „ispupčenja”, zbog čega je ekvatorijalni radijus 6378,135 km, a polarni 6356,750 km. Razlika među radijusima je 43 km (slika 66). Zbog ispupčenja, najudaljenija tačka od centra Zemlje je planina Čimborazo u Ekvadoru, najveća visina na površini Zemlje je Mont Everest, sa 8848 metara nadmorske visine, a najveća dubina Marijanski rov (10.911 m ispod površine mora). Zemlja ima najveću gustinu među terestričnim planetama – 5515,3 kg/m³, najveću silu gravitacije i najjače magnetno polje. Masa naše planete je približno $5,9736 \times 10^{24}$ kg.

Zemlja je jedina planeta Sunčevog sistema gde je voda u tečnom stanju i na kojoj ima života kakav poznajemo. Vodom je pokriveno 71% površine naše planete, ostali deo su kontinenti i ostrva (slika 66).

Zemlja je, kao Sunce i ostale planete Sunčevog sistema, rođena pre 4,6 milijardi godina od ostatka solarne nebule, mešavine prašine i gasa, oblika diska nakon formiranja Sunca. U tekstu koji sledi detaljno ćemo prikazati nastanak naše planete.

Razvoj nauke i nove analitičke metode omogućili su bolje razumevanje procesa, uslova i vremena stvaranja Zemlje i Sunčevog sistema. Veliki doprinos dala je i geologija. Ispitivanjem stena, minerala, meteorita, ultramafitskih uklopaka iz zemljinog omotača itd., uz astronomska, hemijska i geofizička istraživanja, stvorene su nove hipoteze o nastanku i razvoju Zemlje i Sunčevog sistema. Obrazovanje Zemlje je deo procesa nastanka Sunčevog sistema, koji se nalazi u galaksiji Mlečni put, u kojoj se nalazi još oko 400 milijardi drugih zvezda, nebeskih tela, ostataka nebula, maglina itd.

Podsetimo se, Sunčev sistem je nastao od solarne nebule, ostatka eksplozije supernove, oblaka gasa i prašine, koji se vremenom hladio i skupljao.

Čestice stena, minerala i elemenata se sudaraju, slepljuju, rastu. Solarna nebula počinje da se okreće i smanjuje stvarajući protoplanetarni disk. Gravitaciona energija povećava mu masu i ubrzava rotaciju, zbog čega su veća ugaona brzina i masa čestica u solarnoj nebuli kada se ona skuplja. Dodatni moment impulsa za njegovo nastajanje i rotaciju su i gravitacioni uticaj kraka naše galaksije, eksplozija druge supernove u blizini ili prolazak solarne nebule kroz galaktički ekvator.



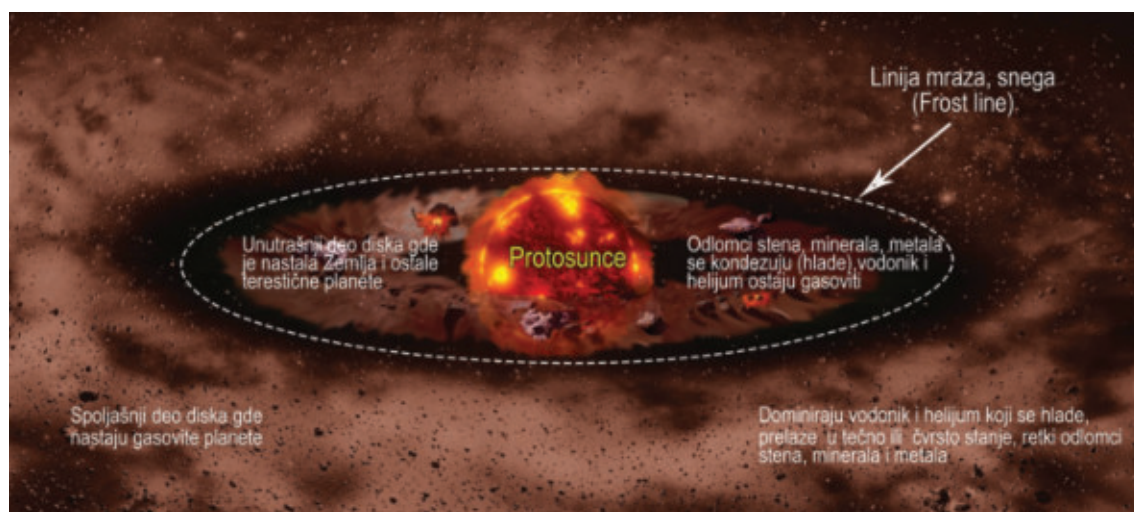
Slika 66. Naša planeta, Zemlja

Za stvaranje protoplanetarnog diska od solarne nebule bilo je potrebno, smatra se, nekoliko miliona godina. U središnjem delu, usled velike sile gravitacije, solarna nebula se pod sopstvenom težinom još više sabija, postaje gušća i toplija, jer se gravitaciona energija u tim uslovima pretvara u toplotnu. Kada se dostigne temperatura za nuklearnu fuziju, atomi vodonika prelaze u helijum, oslobađajući ogromnu količinu energije. U protoplanetarnom disku rađa se nova zvezda, protosunce, tj. naše Sunce, koje je za svoje stvaranje potrošilo najveći deo, preko 99%, solarne nebule. Za ovaj proces bilo je potrebno oko 10 miliona godina. Od preostalog, malog dela, stvorene su sve ostale planete, uključujući i Zemlju. Evo kako je to bilo.

Ostatak solarne nebule, protoplanetarni disk izgrađen od gasova, vodonika i helijuma, u kome „plivaju” komadi stena, minerala i elemenata, nastavlja da se okreće oko tek stvorenog Sunca. Centrifugalna sila mu ne dozvoljava da „pride” isuviše blizu tek rođenoj zvezdi pa je Sunce u fazi sopstvenog nastajanja „odguralo” ostatak nebule. Karakter procesa u ostatku nebule zavisi od sastava i udaljenosti od Sunca. Bliže našoj zvezdi, gde je rođena Zemlja i ostale terestrične planete, temperature su još uvek visoke.

Deo diska dalji od Sunca bogat je gasovima sa malo čestica, komada minerala, stena i elemenata i temperature su niske. To je prostor iza linije mraza (engl. frost line, slika 67). Tu se stvaraju gasovite planete. Zbog veoma niskih temperatura većina gasova u ovom delu solarne nebule je u tečnom ili čvrstom stanju. Vratimo se unutrašnjem delu, „suvom” delu diska, gde se stvaraju terestrične planete.

Izgrađen je uglavnom od prašine, odlomaka, komada metala, minerala i stena, bogatih fer i gvoždem (?) i malo gasova. Kompjuterski modeli ukazuju na to da su terestrične planete nastale u dve faze. Prva faza trajala je nekoliko desetina hiljada godina. Usled sile gravitacije, pomenute čestice i odlomci se sudaraju, slepljuju i sabijaju, stvarajući **grudve** veličine od 1 do 10 m (slika 68a). Proces se nastavlja spajanjem grudvi, što dovodi do stvaranja **planetezimala**, komada stena, minerala i elemenata prečnika od 100 do 1000 m koji „plivaju” u gasovima, pre



Slika 67. Stvaranje terestričnih planeta



Slika 68. Stvaranje Zemlje
(objašnjenje u tekstu)

svega vodoniku i helijumu (slika 68b). Ovaj proces se naziva hladno narastanje ili **akrecija**, i nije „jednostavan”, jer postoje brojni faktori koji utiču na njegov tok: veličina i brzina kojom se planetezimalne sudaraju, gustina gasova u kojima se nalaze itd.

U drugoj fazi kretanjem i rotacijom nebule, planetezimalne nastavljaju da se međusobno privlače, narastaju, postajući čvršće, gušće i veće u prečniku od preko jednog kilometra. Proces rasta u početku je bio brz, ali je sa vremenom bivao sporiji, pri čemu su veće planetezimalne brže rasle od manjih. U gušćim delovima solarne nebule, bogatijim prašinom, odlomcima stena, mineralima i elementima sa malo gasova, daljim narastanjem u bliskom okruženju, stvaraju se još veće planetezimalne, **embrioni**, uz lakši protok toplote, koja, uz gravitaciju, ima značajan uticaj na njihovu brojnost i brzinu rasta. Prečnika su od 100 do 1000 km.

Zavisno od veličine, embrioni se međusobno „bore” za preostala sitnija tela u delu solarne nebule u kojoj se nalaze. Prostor unutar nebule vremenom se prazni, „čisti” i stvaraju se zone, područja sa malo zaostale prašine. Kada dovoljno narastu, prečnika i nekoliko desetina kilometara, nastaju **planetarni embrioni** (slika 68 c), koji dominiraju u „svom” delu nebule, diska.

Jedan od planetarnih embriona u unutrašnjem delu solarnog diska dao je i našu Zemlju (slika 68 d).

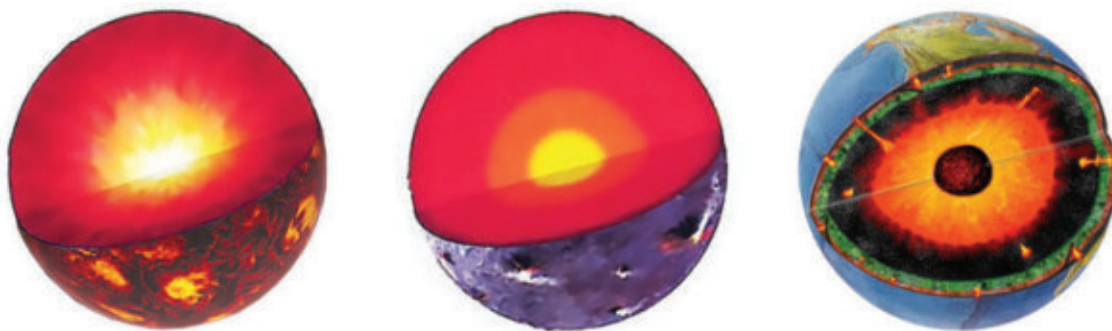
U **homogenom modelu** stvaranja i narastanja Zemlje, planetezimali i embrioni od kojih je nastala naša planeta bili su istog sastava. Gravitaciona energija u tek rođenoj planeti stvorila je (oslobodila) toplotu, kada je došlo do parcijalnog stapanja, pri čemu je novostvoreni rastop od legure **Fe** i **Ni**, koja ima nižu temperaturu stapanja od silikata i veću gustinu (težinu), tonuo ka dnu formirajući jezgro, dok

su lakši silikati „isplivali“ ka površini stvarajući omotač i koru. Smatra se da je jezgro Zemlje nastalo vrlo rano, u prvih par stotina miliona godina postojanja naše planete. Termin *gvozdena katastrofa* opisuje događaj stapanja gvožđa.

Heterogeni model stvaranja Zemlje predlaže narastanje planetezimala različitog sastava (gvozdenih i stenovitih) i da je jezgro nastalo samo od planetezimala sa gvoždem. Heterogeni model akrecije ne isključuje „katastrofu gvožđa“, već smatra da su planetezimali bili diferencirani, odvojeni.

Razlike u sastavu unutrašnjih planeta rezultat su specifičnih uslova koji su postojali zavisno od udaljenosti od centra solarne nebule, protosunca. Stoga ne treba očekivali da će sastav Zemlje biti jednak sastavu ostalih planeta ili solarnoj nebuli u celini. Proces diferencijacije koji je proizveo hemijsku varijaciju širom Sunčevog sistema nije bio „savršeno“ efikasan. Sastav naše planete uključuje i druge elemente, a ne samo one koji su kondenzovani na „našoj“ udaljenosti od Sunca. Pomenimo „zarobljenu“ gasovitu komponentu u nekim planetezimalama koja je „izbegla“ isparavanje i učestvovala u gradnji naše planete.

Većina kinetičke energije koja je vezana za kolizije velikih i malih nebeskih tela „potrošila“ se na zagrevanje unutrašnjosti novostvorenih planeta. Proračuni pokazuju da je Zemlja u velikoj meri bila stopljena pre nego što je završila svoj rast. Tokom kasnih faza narastanja terestričnih planeta sudarima je stvoreno dovoljno energije za stapanje, koje se možda desilo i više puta. U početku, kada je planeta vruća, a viskoznost niska, haotična konvekciona strujanja omogućila su hlađenje planete i kristalizaciju magme. Smatra se da je proces stvaranja od kosmičke prašine i gasova do nastajanja unutrašnjih, terestričnih planeta trajao desetak miliona godina. Tek rođena Zemlja bila je kugla (slika 69) od stopljenih metala, silikata, oksida, sulfida itd. Rana faza stvaranja Zemlje je „Hadska era“ (engl. *Hadean Era*), nazvana po Hadu, bogu pakla, jer je površina naše planete u to vreme bila „pakao“. Trajala je oko 800 miliona godina, od njenog rođenja pre 4,6 do 3,8 milijardi godina. Ostatak, deo zaostalih planetezimala, sada se nalazi između Marsa i Jupitera, gradeći asteroidni pojas. U prvim danim postojanja naša planeta bila je veoma topla (slika 70). U središnjem delu tek rođene Zemlje sila gravitacije uzrokovala je sabijanje. Tokom ovog procesa gravitaciona energija prelazi u



Slika 69. Diferencijacija elemenata, stvaranje slojevite građe Zemlje

toplotu, koja je bila dovoljna da stopi i izdvoji teške elemente, metale, pre svega gvožđe, zatim nikl i kobalt. Zbog veće gustine, oni su tonuli ka središnjem delu i formirali jezgro. Istovremeno sa tonjenjem teških metala, frakcionacijom, razlaganjem, diferencijacijom i po geohemijskim svojstvima, lakši elementi **Mg, Ca, Al, Si, O, Na, K** i zaostali deo **Fe** „isplivavali” su ka površini najvećim delom kao silikati, oksidi, a delom i sulfidi. Pomenutim procesima diferencijacije, koji su bili najintenzivniji u „prvim danima” postojanja, Zemlja dobija slojevitou građu. Stvara se **jezgro**, u kome su gvožđe, nikl, zatim **omotač**, u čijem donjem delu su gusto pakovani oksidi, a u gornjem delu silikati, i **kora**, na kojoj vi i ja živimo, izgrađena od silikata, karbonata, glina itd. U ranoj, „mladalačkoj” fazi, veliki broj asteroida „udarao” je na našu Zemlju. Dokazi se vide na susednim planetama, Veneri i Marsu, kao i na Mesecu, čije su površine izbrazdane kraterima veličine i nekoliko stotina kilometara. Smatra se da su intenzivna „bombardovanja” bila u dve faze:

prvo bombardovanje sa stenovitim asteroidima, verovatno iz asteroidnog pojasa, a drugo sa ledenim kometama koje su došle iz Kajperovog pojasa i Ortovog oblaka. Pojedini istraživači smatraju da su ledene komete donеле značajne količine vode na Zemlju, možda i organske molekule koji su započeli život. Podsetimo se da su voda i drugi gasovi sa ugljenikom, azotom itd. dolazili i vulkanskim erupcijama iz unutrašnjosti naše planete. Značajan deo vode i **CO₂** sada je zarobljen u mineralima, stenama.

Za našu planetu, a i za nas, važan momenat dogodio se 30 do 100 miliona godina nakon „rođenja” Zemlje kada je „otpadnički” fragment Sunca, veličine Marsa, nazvan Teja (Theia), „pobegao” iz paklene mašine, unutrašnjeg dela solarne nebule u vreme stvaranja terestričnih planeta, i „uleteo” u orbitu naše planete, sa kojom se sudario, kada je stvoren Mesec, a Zemlja povećala zapreminu za oko 5% (slika 71). Naš prirodni satelit Mesec je oko 27% veličine Zemlje i manje gustine (3,35 g/cm³) od naše planete (5,515 g/cm³). Njegova mala gustina pripisuje se nedostatku većeg, gustog jezgra kao što ga ima Zemlja. Površina mu je pokrivena velikim kraterima stvorenim od meteorita i asteroidnih udara, i svetlim područjima koja se nazivaju lunarne visoravni, izgrađene od anortozita. Izotopska starost stena je od 3–3,5 do 4,5 milijardi godina. Eksperimenti su pokazali da se udarom meteorita stvaraju krateri 10 do 15 puta veći od tela koje ga je napravilo. Krater širine od 200 do 300 km stvara telo prečnika 10 do 30 km. Ako je Mesec bombardovan meteoritima, zašto nije i Zemlja? Krateri na Zemlji postoje, ali ih je znatno manje nego na Mesecu. To je još jedno od pitanja koje čeka odgovor. Veliki broj kratera na Mesecu nastao je udarom meteorita koji su stari oko 3,9



Slika 70. Tek rođena Zemlja



Slika 71. Stvaranje Meseca

milijardi godina. Koliko su bila velika tela koja su udarala na površinu Meseca? Naš satelit ima tanku gasovitu atmosferu i nema tektoniku ploča tokom većeg dela svog postojanja, pa su stare strukture na njegovoj površini očuvane, skoro netaknute. Ovo je najšire prihvaćena hipoteza stvaranja jedinog Zemljinog satelita. U prilog pomenutog govore sledeće činjenice i osmatranja:

1. Orbita Meseca nije u ekvatorijalnoj ravni Zemlje, ni u ekliptici, i nagnuta je za $5,1^\circ$ od ravni ekliptike, dok je orbita Zemlje nagnuta $23,4^\circ$, što ukazuje na to da je određena sila, kao što je sudar, narušila moment impulsa i parametre rotacije. Podsetimo se da Mesec rotira u istom smeru kao i Zemlja.

2. Ugaoni moment sistema Zemlja–Mesec je anomalno visok u poređenju sa drugim planetarnim satelitskim sistemima.

3. Mesec ima najveću masu u odnosu na ostale prirodne satelite.

4. Mesec ima debelu koru (60–100 km), koja čini oko 12% njegove zapremine i stara je 4,5 Ga. Izgrađena je od anortozita i bazalta. Izotopska starost ovih stena ukazuje na to da su one nastale odmah nakon sudara sa Zemljom.

5. Mesec ima manju gustinu u odnosu na terestrične planete, što ukazuje na nizak sadržaj gvožđa. Ona je približna gustini omotača Zemlje, što znači da je izgrađen od **Fe** i **Mg** silikata i formiran u unutrašnjem delu Solarnog sistema. Naš satelit je osiromašen volatilnim elementima i obogaćen nekim refraktornim elementima kao što su **Ti**, **Al** i **U**.

6. Na Mesecu su i okeani bazalta, koji pokrivaju oko 17% njegove površine, nastali pre 3,9 Ga. Gornji sloj, litosfera, je debljine 400–500 km i verovatno je izgrađen od kumulatnih bazičnih i ultrabazičnih stena. Kad se ide dublje je drugi sloj, gde se na 1100 km javlja oštar seizmički pik. Smatra se da Mesec ima malo metalno jezgro (prečnik 300–500 km), koje čini oko 2–5% njegove zapremine.

7. Iako Mesec nema magnetno polje, remanentna magnetizacija ukazuje na to da je magnetno polje postojalo pre oko 3,9 i 3,6 Ga.

8. Mesec se udaljava od Zemlje za oko 5 cm godišnje, a brzina rotacije Zemlje se smanjuje, što uzrokuje promene u dužini zemaljskog dana i meseca, kao i u životu na Zemlji.

9. Izotopi kiseonika magmatskih stena sa Meseca su isti kao i iz Zemljinog omotača, što ukazuje na zajedničko poreklo. Imajmo u vidu da Mesec ima značajan uticaj na našu planetu, stabilizaciju njene orbite, osu rotacije, uticaj plime i oseke, kao i na život kakav poznajemo. Nijedna druga planeta, osim Zemlje, nema tako

veliki prirodni satelit u odnosu na njenu veličinu. Zemlja i Mesec su „blisko vezani”, fizički i hemijski, jer imaju zajedničku istoriju stvaranja i sudbinu postojanja.

Vratimo se Zemlji. **Unutrašnje**, terestrične planete, kojima pripada i Zemlja tokom stvaranja su „sačuvale”, zadržale deo od kojeg su formirale atmosferu. Rastojanje planeta od Sunca odredilo je u kom su obliku ostali gasovi: kao atmosfera na Veneri, kao atmosfera i voda na Zemlji ili samo kao ledene kape na Marsu. Samo u pogodnim uslovima stvorio se život kakav poznajemo i kome pripadamo. Da je Zemlja nastala bliže Suncu, voda u okeanima, morima, jezerima i rekama bi isparila, a ako bi bila dalje od Sunca, bio bi samo led. Naša planeta nalazi se baš gde treba, prema našim željama, potrebama. Zato je život na Zemlji blagostanje stvoreno još u vreme nastajanja Sunca i njegovih planeta.

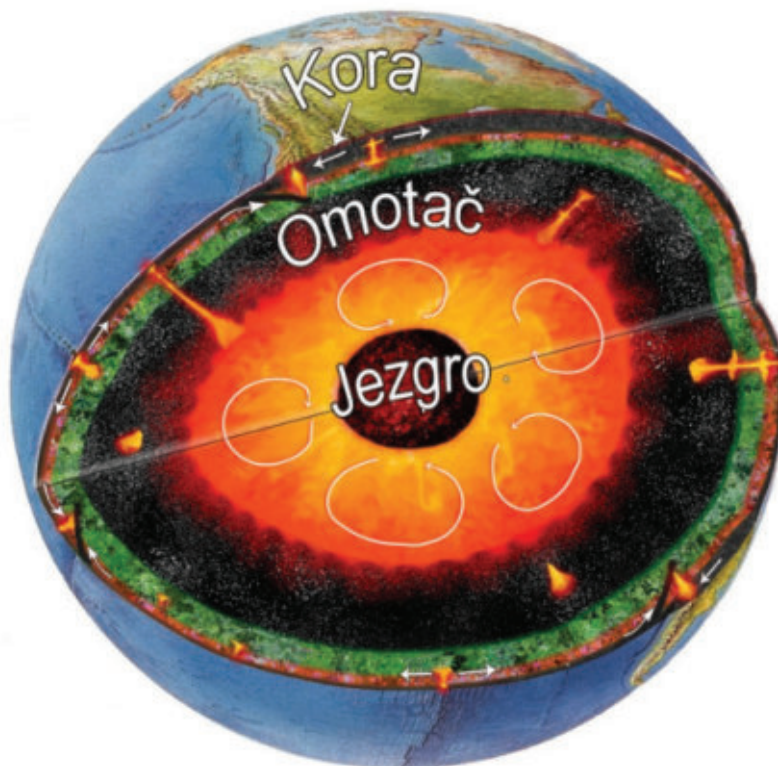
I šta bi dalje? Rodiše se Zemlja i ostale terestrične planete bliže Suncu. I opet sveprisutna i svemoguća sila gravitacije. Novostvorene planete, zbog veće mase, počinju brže da se okreću oko Sunca. Orbite su u početku verovatno bile eliptične, ali tokom vremena, zbog povećanja mase, postale su manje ekscentrične. S oligarhijskim rastom planeta, Sunčev sistem je ispunjen i uravnotežen sa njihovom veličinom, međusobnim rasporedom i rastojanjem. Smatra se da je narastanje planeta do današnje veličine trajalo nekoliko desetina miliona godina i da je vremenski bilo kraće od narastanja Sunca.

Sitnije planetezimale su „počišćene” po orbitama tokom narednih 100 miliona godina. Mars je verovatno nastao 10 miliona godina nakon Sunca, a Zemlja kasnije, posle 50 miliona godina. Zbog visoke temperature Sunca, njegovog zračenja, Sunčevih vetrova itd., najveći deo gasova koji je bio u unutrašnjem delu solarne nebule udaljava se od naše zvezde u periferne (spoljašnje) delove. Od njih su nastale gasovite planete Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, koje su znatno veće, ali manje gustine u odnosu na unutrašnje, terestrične planete. Izdvajanje planetezimala i planetarnih embriona u delu diska bliže Suncu olakšalo je stvaranje gasovitih planeta, koje se nalaze znatno dalje od naše Zvezde.

Vratimo se ponovo Zemlji. Prečnik naše planete je, kako smo naveli, 6370 km, ali je mali deo dostupan direktnom osmatranju. Najdublji rudnici su oko 2500 m ispod površine, a najdublja bušotina na oko 12 km. Zbog toga se za proučavanje sastava Zemlje i zemljine kore koriste geohemijski podaci, eksperimentalni opiti, rezultati geofizičkih ispitivanja, podaci o sastavu meteorita, osmatranja živih i ugašenih vulkana i, naravno, proučavanja stena i minerala po kojima hodamo i živimo. Na osnovu petroloških, geohemijskih i geofizičkih proučavanja, utvrđeno je da je Zemlja slojevite, zonarne građe, koju čine **jezgro**, **omotač** i **kora** (slika 72). Sastav i struktura Zemlje biće detaljnije prikazani u posebnom poglavlju.

Akumulirana toplota u jezgru i omotaču Zemlje ima značajan uticaj na život naše planete. Konvekcijom strujanjem ona uzrokuje tektonsku i vulkansku aktivnost u spoljnim delovima, litosferi. Spuštanjem i podizanjem blokova, delova litosfere, morfologija, površina Zemlje neprekidno se menja. Stvaraju se planinski

lanci, okeani, mora i jezera. Tektonska aktivnost traje i danas. Da je nema, svi okeani, mora i jezera bi vrlo brzo, za par hiljada godina, možda i kraće, bili zapunjeni sedimentima, a planine izravnate, „ispeglane”. Površina naše planete vremenom bi postajala ravna. Najveći deo flore i faune bi nestao, a sa njima verovatno i čovek.



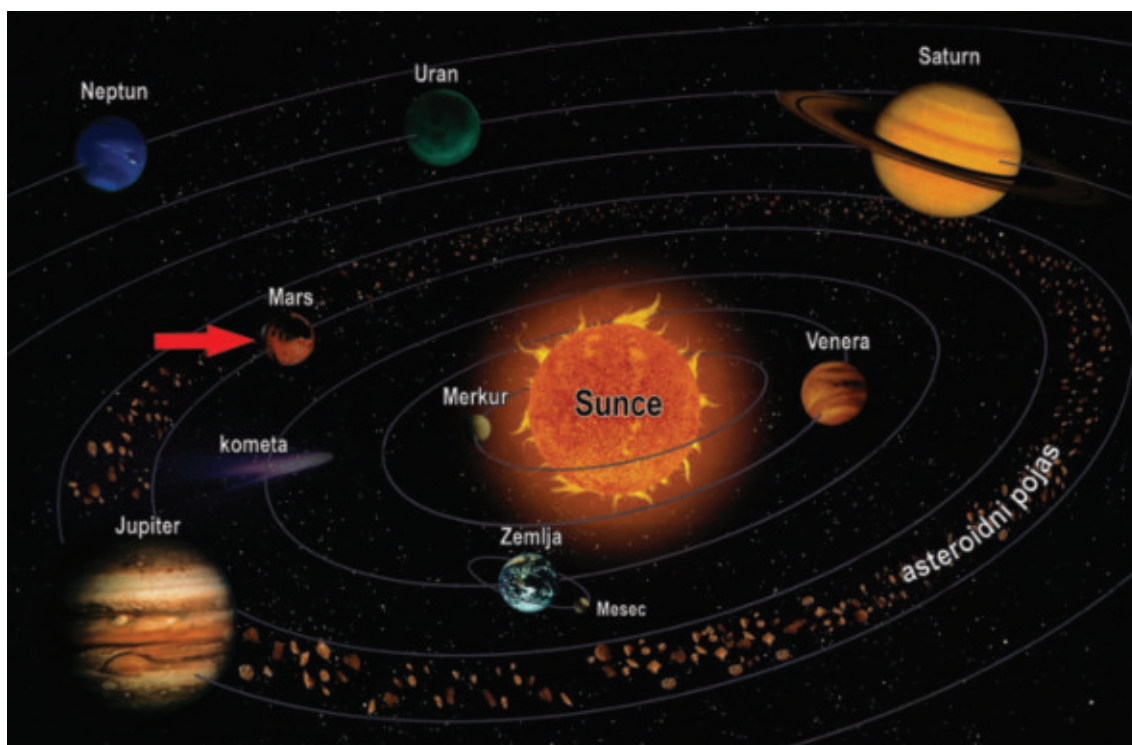
Slika 72. Struktura Zemlje

Toplota iz unutrašnjosti Zemlje zagreva i tlo po kojem hodamo. Tu su i trava, drveće, cveće, životinje, insekti i ko zna šta još. Bez toplote iz unutrašnjosti Zemlje ne bismo opstali. Sunce zagreva atmosferu i samo nekoliko desetina centimetara tla. Ispod toga, da nema toplote iz unutrašnjosti Zemlje, bilo bi hladno i nepovoljno za opstanak flore i faune koju poznajemo.

Na kraju da zaključimo. Naša planeta je lepa, energična dama, uvek u pokretu, i sa okruženjem stvara idealne uslove da bismo opstali. Uz neprekidnu tektonska aktivnost, eroziju i atmosferu bogatu kiseonikom i azotom, na Zemlji se omogućava i održava život kakav poznajemo. Evo nas u raju, na našoj planeti. Baš uživamo, i dok čitate ovaj tekst, nadam se.

II.3.1.4. MARS

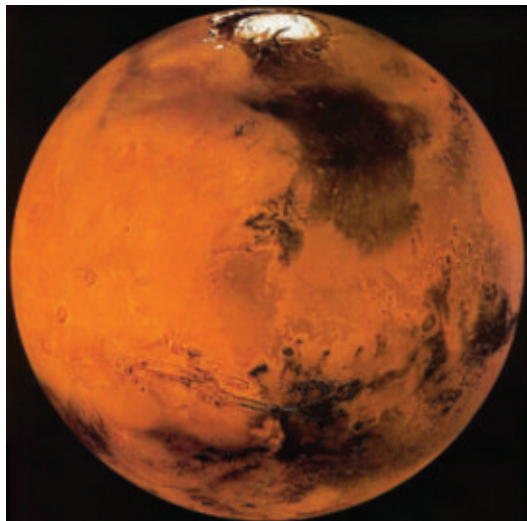
Mars je četvrta terestrična planeta, najudaljenija od Sunca (slika 73). Ona je takođe jedna od najmanjih u Sunčevom sistemu, veća samo od Merkura. Ime je dobio po rimskom bogu rata, Marsu, ali se zbog crvene boje na površini koja potiče od oksida gvožđa naziva i „Crvena planeta”. Prava boja Marsa je svetlo braon, dok se crvenilo javlja usled prašine u atmosferi ove planete (slika 74). U različitim



Slika 73. Položaj Marsa (označen crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu; napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

kulturama Mars je simbol muževnosti i mladosti. Grafički simbol, krug sa strelicom okrenutom nagore i nadesno je simbol muškog pola. Mars se vidi sa Zemlje i golim okom, a od njega su sjajniji Jupiter, Venera, Mesec i Sunce. Prepoznaje se po pomenutoj crveno-braon boji. Kroz amaterski teleskop na površini Marsa uočavaju se „braon-crvene” ravnice i tamnije oblasti, za koje se smatralo da su mora, zbog čega su nazvane Eritrejsko more (Mare Erythraeum), Sirensko more (Mare Sirenum). Prosečna udaljenost Marsa od Sunca je 230 miliona kilometara, a Mars oko Sunca napravi pun krug za 687 zemaljskih dana, koliko traje i njegova godina.

Mars se oko sebe okrene za 24 sata, 39 minuta i 35 sekundi, što je približno jednako danu na našoj planeti. Mars ima izraženo ekscentričnu orbitu od 0,0934 (samo Merkur ima veću). Ova planeta ima sličan nagib ose rotacije kao Zemlja,

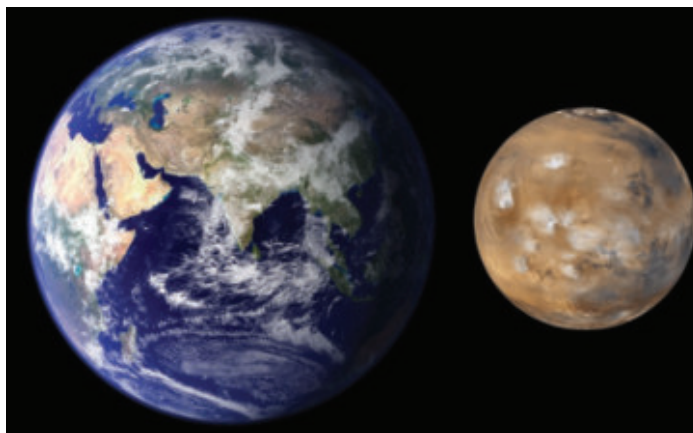


*Slika 74. Planeta Mars;
gore belo je ledena kapa*

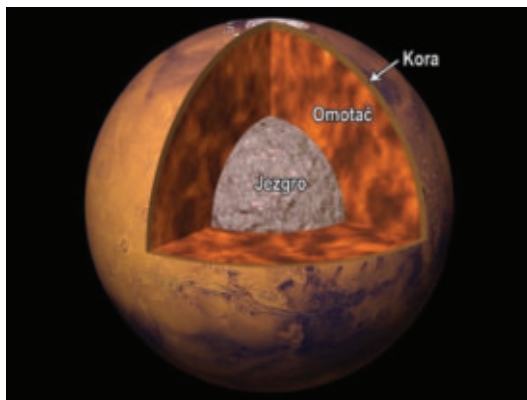
su elementi sa niskom tačkom ključanja, hlor, fosfor, sumpor, znatno više zastupljeni na Marsu nego na Zemlji. Verovatno su, u ranoj fazi stvaranja Sunčevog sistema „oduvani” iz područja bližih Suncu. Mars ima dva prirodna satelita, Fobos, prečnika oko 22 km, i Dejmos, prečnika oko 12 km, koji su u relativno niskoj orbiti. Verovatno su „uhvaćeni” asteroidi. Oba nebeska tela otkrio je američki astronom Asaf Hol, 1877. godine. Sa površine Marsa, kretanja Fobosa i Dejmosa po nebu razlikuju se od kretanja Meseca, gledano sa Zemlje. Fobos izlazi na zapadu, a zalazi na istoku, da bi se ponovo pojavio na zapadu samo 11 sati kasnije. Dejmos, izlazi na istoku, veoma sporo, za oko 30 sati obiđe krug oko Marsa, ali mu je između izlaska na istoku i zalaska na zapadu, gledano sa ekvatora, potrebno 2,7 dana, jer blago „kaska” za rotacijom Marsa.

Vulkanska aktivnost imala je značajnu ulogu u stvaranju i razvoju Marsa. Na njegovoj površini su ogromni vulkani, izlivi bazaltnih lava (slika 77). Vulkanska kupa Olimp na Marsu je druga po veličini u Sunčevom sistemu, oko tri puta viša od Mont Everesta, najviše tačke na Zemlji. Bazalti su izgrađeni od istih minerala kao na Zemlji: piroksena, bazičnih plagioklasa i olivina. U pojedinim područjima, lave su bogatije silicijom, kada prelaze u andezite. Stene su presvučene oksidima gvožđa (limonitom, hematitom), dajući im crvenu boju.

zbog čega su slična i godišnja doba, ali na Marsu traju duplo duže. Mars je upola manji od Zemlje, ali joj je najbliži od svih ostalih planeta (slika 75). Ima malu gustinu, samo deseti deo mase naše planete, zbog čega je sila gravitacije mala, samo 38% Zemljine. Smatra se da je jezgro Marsa, prečnika 3580 ± 130 km, najvećim delom izgrađeno od gvožđa i nikla, sa malo sumpora (slika 76). Oko njega je omotač od silikata sa gvožđem, magnezijumom, aluminijom, kalcijumom i kalijumom. Oko omotača je kora debljine od 50 km, najviše do 125 km, što je, ako se uzme u obzir veličina, kora tri puta veća od Zemljine kore. Zanimljivo je da



Slika 75. Odnos veličina Zemlje (levo) i Marsa (desno)



Slika 76. Unutrašnja građa Marsa

Udari meteorita stvorili su ogromne depresije, basene. Na južnoj polulopti nalaze se basen Helas, veličine 10.600x8500 km, i depresija Borealis, koja zauzima oko 40% njegove površine.

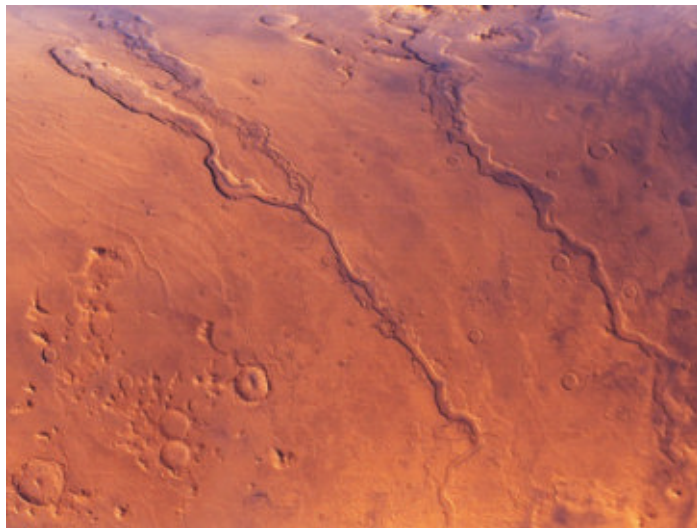
Južna polulopta je prošarana kanjovima i kraterima, među kojima je i Utopija, prečnika 3300 km, najveći krater u Sunčevom sistemu. Na ovom delu Marsa je i ogroman sistem kanjona, Dolina Mariner, dugačak oko 4000 km, na pojedinim mestima dubok i 7 km. Smatra se da

je nastao tektonski i da predstavlja granicu ploča duž koje je došlo do transverzalnog kretanja. Na zapadnoj polulopti je vulkansko-tektonski kompleks Tarsis, dužine nekoliko hiljada kilometara, prosečne visine, iznad nulte tačke od 7–10 km, sa velikim brojem ostataka vulkana. On prekriva oko 25% ove planete. Na Marsu ima i pećina sa otvorom od 100 do 250 m, koje mogu biti značajne za boravak i skloništa ljudskih misija, jer štite od meteorita, temperature, UV zračenja itd. Na površini Marsa sada nema tečne vode, zbog niskog atmosferskog pritiska, koji je 100 puta niži nego na našoj planeti.

Smatra se da je u atmosferi Marsa bilo i vodene pare, koja je dala kišu, od koje su stvoreni rečni tokovi, koji su formirali prepoznatljive morfološke oblike, rečne doline, kanale, nanose itd. Odsustvo zaštitnog ozonskog omotača, međutim, omogućilo je zagrevanje i isparavanje vode, koja je usled slabe sile gravitacije „zauvek otišla” sa ove planete. Mars danas ima vodu u polarnim kapama, gde je led, ili u tlu, neposredno ispod površine. Tanka atmosfera sa niskim atmosferskim



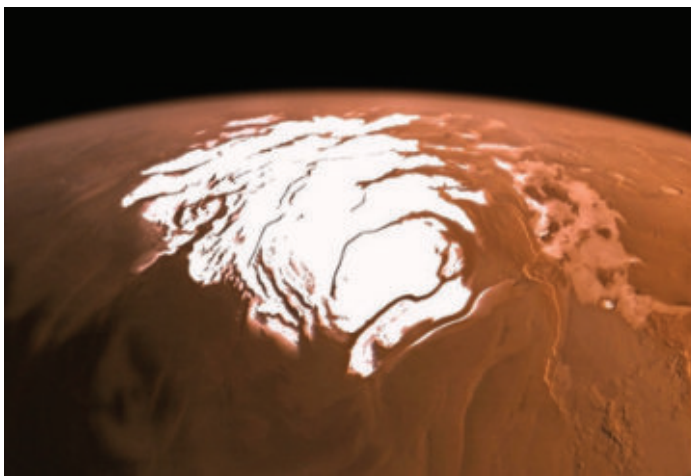
Slika 77. Odlomci bazaltne lave na površini Marsa



Slika 78. Ostaci rečnih tokova na Marsu

Mars je „izbrazdan” kanjonima, kanalima i dendritskim mrežama, koji su, verovatno, nastali fluvijalnom erozijom (slika 78), što ukazuje na to da je na ovoj planeti u geološkoj prošlosti bilo vode. Jedan od njih je i Maadim Valis, dužine 700 km, širine 20 km i dubine do 2 km. Na Marsu su i dve polarne ledene kape izgrađene od vodenog leda i male količine zaleđenog ugljen-dioksida (slika 79). Tokom zimskog perioda, one su u potpunom mraku. Severna kapa je prečnika oko 1000 km, debljine oko 2 km i zapremine od 1,6 miliona km^3 . Južna polarna kapa je prečnika oko 350 km, a led debljine oko 3 km i zapremine slične kao i na severnoj kapi. Radi poređenja, led na Grenlandu ima zapreminu od 2,85 miliona km^3 . Sezonski mraz na južnoj polarnoj kapi stvara tanke, providne ploče suvog leda debljine oko jednog metra. U proleće, sa porastom temperature, suvi led (CO_2) isparava i stvara džepove. Kada pritisak u njima nadvlada led u kojem se nalaze, stvara se erupcija slična gejzirima. Izlazi gas sa bazaltnim peskom i prašinom, koji mu daju crnu boju. Ove erupcije najčešće traju par dana ili sedmica, retko i meseci. Atmosfera na Marsu je tanka i razređena. Najveća gustina atmosfere na crvenoj planeti odgovara gustini Zemljine atmosfere na nadmorskoj visini od 35 km. Izgrađena je najvećim delom od ugljen-dioksida (96%), argona (1,93%) i azota (0,89%). Utvrđen je i metan. Kiseonik, neon i vodena para su u tragovima. U atmosferi se nalaze sitne čestice prašine,

pritiskom sprečava nastanak vode na površini. Međutim, pojedini istraživači ove planete smatraju da je na Marsu bilo tečne vode koja je tekla po površini, ali je bila pre-slana i prekisela za stvaranje i održavanje živog sveta kao što je na Zemlji. Jedan od dokaza prisustva vode na Marsu su i minerali sa vodom koji su utvrđeni na ovoj planeti, poput jarozita, gipsa, limonita itd. Takođe, postoji i slana voda u letnjim mese-



Slika 79. Ledena kapa na Marsu

koje daju žuto-smeđu boju. Atmosferski pritisak na Marsu je samo 0,6% pritiska na Zemlji. Smatra se da Marsova atmosfera ipak pruža zaštitu od udara manjih meteoroida.

Na Marsu su velike temperaturne razlike u toku dana i noći jer je atmosfera tanka i razređena, a atmosferski pritisak nizak, pa se ne može „sačuvati” veća količina toplote. Razlog je i ekscentričnost orbite planete i udaljenost od Sunca (oko 1,52 puta udaljenija od Zemlje), zbog čega do Marsa dopire 57% manje svetlosne i toplotne energije nego do Zemlje.

Temperatura na površini Marsa varira od -153 °C na polarnim kapama do +35 °C na ekvatoru tokom leta. Podaci sa svih misija koje su sletele na površinu Crvene planete ukazuju na to da je prosečna temperatura na površini ove planete oko -63 °C. Pomenimo da su na internet stranici **Mars Weather** dostupni svakodnevni podaci o vremenskim uslovima na površini Crvene planete.

Na Marsu ima oblaka koji su veoma visoko, više od 100 km iznad njegove površine (slika 80). Vide se tokom svitanja ili sumraka, kada je nebo tamnije.

Svake marsovske godine u severnom polarnom regionu javlja se kružni oblak približno iste veličine sa rupom u sredini (nalik krofni). Stvara se u specifičnim atmosferskim uslovima na ovom delu Marsa. Beličaste je boje, verovatno izgrađen od čestica vodenog leda, za razliku od oblaka koji nastaju tokom peščanih oluja, koji su crvenkaste boje. Vremenske prilike na Marsu se godišnje ponavljaju, pa ih



Slika 80. Oblaci na Marsu

je lakše i predvideti nego na Zemlji. Ako se u nekom regionu i u određenom vremenu dogodi određena meteorološka pojava, slična će biti i na istom mestu godinu dana kasnije, uz odstupanje od jedne ili dve sedmice.

Površina Marsa se vrlo brzo zagreva, ali i hladi. Temperaturne razlike tokom dana, van polarnih područja, iznose i do 100 °C. Zbog toga se stvaraju i vetrovi, ponekad i vrtložni, slični tornadima na Zemlji.

Na Marsu su i najveće peščane oluje u Sunčevom sistemu. Najčešće su kada je Mars u orbiti najbliži Suncu. Zahvataju manje oblasti, retko obuhvataju i celu planetu. Mars nema magnetno polje koje bi usmeravalo naelektrisane čestice koje ulaze u atmosferu. Prisutna su magnetna polja nalik kišobranima, uglavnom na južnoj polulopti, koja su ostaci globalnog magnetnog polja, koje je nestalo pre više milijardi godina. Uočen paleomagnetizam stena ukazuje na to da je u ranoj fazi stvaranja Marsa bilo i tektonskih ploča.

Mars je geološki neaktivan. Sa prestankom vulkanske aktivnosti, zaustavljena je i razmena elemenata i minerala između površine i unutrašnjeg dela planete. Smatra se da je Mars bio daleko gostoljubiviji nego danas. Tlo je alkalno i sadrži magnezijum, natrijum, kalijum i hloride, koji bi omogućili stvaranje organizama, ali bi oni morali biti zaštićeni od visokih, odnosno niskih temperatura i ultraljubičastog zračenja. Zanimljivo je da su u simuliranim marsovskim uslovima zemaljski lišajevi preživeli, pa se smatra da je na Crvenoj planeti život moguć.

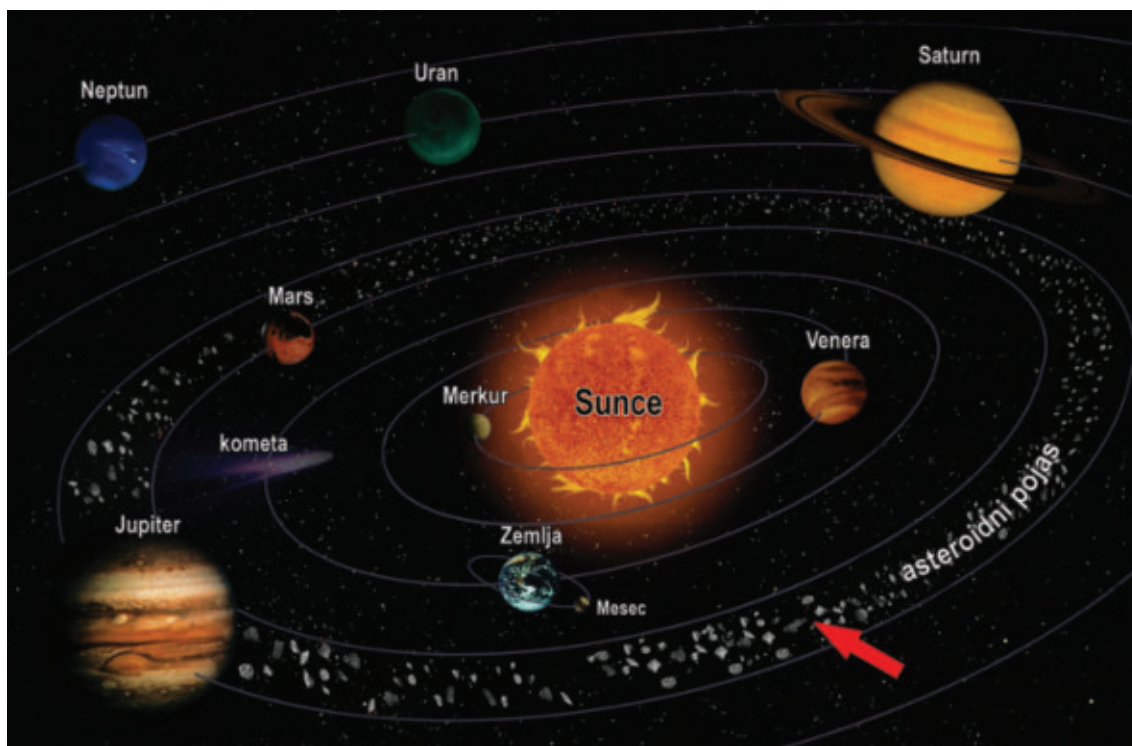
Galileo Galilej (slika 81) prvi je čovek koji je Mars video kroz teleskop 1610. godine. Prve mape Crvene planete, na kojima su prikazane neke površinske odlike, nacrtao je holandski astronom Kristijan Hajgens (Christiaan Huygens). Najpovoljniji položaj za posmatranje Marsa je svakih 15 do 17 godina, i uvek je između kraja jula i kraja septembra, kada se morfologija površine može videti i „normalnim” teleskopom. Naročito su vidljive polarne ledene kape planete. Mars je imao svoj najbliži prolet pored Zemlje i najveći sjaj na nebu u poslednjih 60.000 godina, 27 avgusta 2003. godine. Izračunato je da je poslednji put bio tako blizu Zemlje 1877. godine, a da će sledeći put biti oko 2287. godine. Proteklih decenija sonde u orbiti oko Marsa i na njegovoj površini prikupile su veliki broj fotografija visoke rezolucije, od kojih su napravljene detaljne karte ove planete. Na njima nisu uočeni ostaci „inteligentnog” života, ali spekulacije o inteligentnim bićima na Marsu i dalje postoje. Mars je mitska arena na koju su Zemljani projektovali svoje nade, ali i strahovanja. Podsetimo se da su neki meteoriti došli sa Marsa.



Slika 81. Galileo Galilej
(1564–1642)

II.3.1.5 ASTEROIDNI POJAS

Asteroidni ili planetoidni pojas je područje sa asteroidima između Marsove i Jupiterove orbite (slika 82), koje su toliko odvojene da je još Johan Kepler, davne 1596. godine, pretpostavio postojanje nekog nebeskog tela između njih. Prosečna udaljenost asteroidnog pojasa od Sunca je između 1,7 i 4 AJ (AJ je, podsetimo se, astronomska jedinica koja odgovara razdaljini od oko 149.600.000 km). Najveća gustina, tzv. glavni pojas asteroida je između 2,2 i 3,3 AJ. Asteroidi unutar 2,5 AJ nemaju vodu, dok iznad 2,5 AJ asteroidi imaju vodu, čija količina se povećava sa rastojanjem od Sunca.



*Slika 82. Položaj asteroidnog pojasa (označen crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu;
napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca
zbog preglednosti nisu u srazmeri*

Smatra se da je asteroidni pojas nastao od ostataka protoplanetarne materije – **planetezimala** koji nisu ušli u sastav planeta Sunčevog sistema tokom njihovog nastanka. Sila gravitacije Jupitera verovatno je onemogućila stvaranje krupnijih planeta i ograničila prostor pojavljivanja i kretanja asteroida.

U njemu je verovatno bilo i krupnijih nebeskih tela, koja su međusobnim sudarima smrvljena i usitnjena. Asteroidi (planetoidi), zajedno sa kometama i meteorima, kao i sitnom materijom (prašinom) „plivaju” u međuplanetarnom prostoru i spadaju u mala tela Sunčevog sistema (slika 83).

Naziv **asteroidi** (liče na zvezde) dao je Vilijam Heršel (William Herschel) jer se posmatranjem teleskopom lako pomešaju sa zvezdama.

Asteroidi ili **planetoidi** koji grade asteroidni pojas jesu komadi stena, minerala i odlomci metala, uglavnom gvožđa, prečnika nekoliko centimetara pa do više stotina kilometara. Podsetimo da, po definiciji, asteroidi imaju prečnik manji od 1000 km (najveći je Ceres sa 933 km), a planete veći od 1000 km.



Slika 83. Deo asteroidnog pojasa

Procenjuje se da ima oko 1,1 do 2 miliona asteroida većih od 1 km, koji grade oko 95 % poznatih asteroida, a verovatno preko milijardu objekata prečnika manjeg od 1 km.

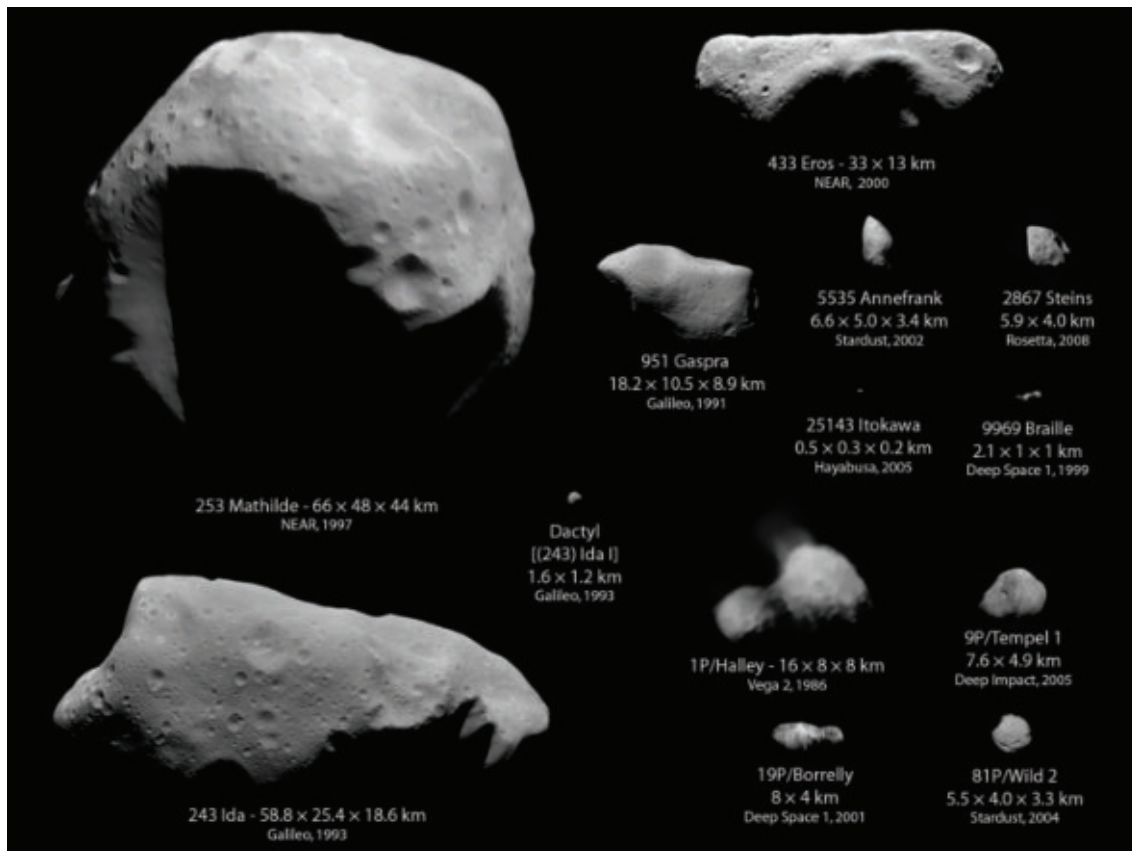
Podeljeni su u tri grupe: (1) asteroidi blizu Zemlje (klase Apola, Atena i Amora), od kojih neki imaju orbite koje presecaju orbitu Zemlje; (2) glavni asteroidni pojas; i (3) Trojanci, koji su ispred i iza Jupitera, na njegovoj orbiti (u La-granževim tačkama).

Orbitalne praznine gde se asteroidi ne pojavljuju verovatno su posledica perturbacija uzrokovanih rezonancama u gravitacionom polju Jupitera.

Asteroidi se okreću oko Sunca u istom smeru kao i planete i nemaju atmosferu. Izduženost, ekscentričnost orbite i inklinacija je veća kod manjih tela, a nagibi prema ekliptici su veći nego kod planeta.

Do sada je otkriveno 238 asteroida većih od 100 km, što nije konačan broj, a manjih ima znatno više (slika 84). Asteroidi postoje i van Sunčevog sistema.

Većina asteroida ima ekscentrične orbite, od 0,1 do 0,2, prosečno 0,15, dok su im inklinacije manje od 16° . Orbite asteroida su različite i nemaju pravilnost, zbog čega se često daju srednje vrednosti. One zavise od ekscentriciteta, inklinacije, načina nastanka itd. Kada asteroid promeni orbitu, postoji velika verovatnoća da će se sudariti sa drugim asteroidom, ali će „odmah reagovati” sila gravitacije okolnih planeta, koja će smiriti poremećaj i prilagoditi putanju. Od svih planeta, najveći uticaj imaju Jupiter i Mars. Neki asteroidi imaju i vlastite satelite. „Skro-



Slika 84. Neki od većih asteroida; za svaki od njih prikazana je dimenzija (gornji deo teksta) i ko ga je i kada pronašao (donji deo teksta)

mne” dimenzije asteroida otežavaju određivanje njihove veličine, sastava, orbite itd., ali mnoge od njih su otkrili amateri. Ukupna masa asteroida u pojasu je, smatra se, oko 1000 puta manja od mase Zemlje. Od njih bi se napravilo nebesko telo prečnika 1500 km. Najveći broj asteroida (planetoida) nalazi se, kao što smo pomenuli, u asteroidnom pojasu između Marsa i Jupitera, ali nekoliko desetina njih, zbog male udaljenosti, ili velikog ekscentriciteta prilazi Suncu bliže od Marsa (Amori) i Zemlji (Apoloni).

Jezgra većih asteroida su od gvožđa, omotač je silikatni, a njihova kora ponekada sadrži i ugljenik. Zbog veoma niskog albeda (koeficijenta refleksije, tj. sjajnosti) uglavnom su tamni, pa čak i crni. Površine su glatke, ravne, šupljikave, ponekad izbrazdane, nepravilne. Većina asteroida (planetoida) ima nepravilan oblik, ovalan, sferan, ili štapićast (slika 85). Neki asteroidi su međusobno vezani gravitacijom i zajedno se okreću oko Sunca. Asteroidi se okreću i oko sebe za 2,5 do



Slika 85. Oblici i površine asteroida

85 sati, prosečno 8 sati, kada menjaju sjaj i prividnu veličinu, što otežava njihovo proučavanje. Relativne brzine planetoida su oko 5 km/s, dovoljno su brzi da, kada se međusobno sudare, stvore manja tela i međuplanetarni prah.

Trojanci su grupa od više stotina asteroida sa stabilnim orbitama koju dele sa Jupiterom. Desetak njih je veće od 100 km. Zbog ekscentričnosti i uticaja gravitacije Jupitera, njihovi međusobni odnosi se neprekidno menjaju, neki od njih mogu napustiti „grupu” i odlutati u svemir.

Postoji šest velikih praznina u asteroidnom pojasu, gde „skoro” da nema asteroida i koje su poznate kao Kirkvudove praznine (engl. *Kirkwood Gaps*), nazvane po matematičaru Danijelu Kirkvudu (Daniel Kirkwood).

Do sada je otkriveno oko 80.000 asteroida, oko 11.000 njih ima redni broj i ime. Smatra se da u Sunčevom sistemu ima nekoliko miliona asteroida. Najveći broj asteroida (planetoida) dobio je ženska imena, najpre iz mitologije, a zatim „obična” ženska imena, imena naučnica, imena po raznim nazivima, omiljenim jelima, literarnim junacima, gradovima, državama itd. Pomenimo neka: Ana Marija, Bredihina, Vladilena, Filozofija, Geometrija, Papagena, Gagarina, Hermes, Sizif itd.

Isti ili veoma sličan hemijski sastav navodi na zaključak da su meteoriti ostaci asteroida, a meteori ostaci kometa. Veza asteroida i kometa još uvek je predmet zanimljivih teorija o nastanku Sunčevog sistema. Asteroide proučava dvadesetak opservatorija.

Pojedini astronomi smatraju da je asteroidni pojas u stvari prazan prostor u kome se sreću asteroidi. Ako biste putovali kroz njega, treba da prođe mnogo vremena da pored vas „proleti” asteroid, što se znatno razlikuje od „rojeva” asteroida na većini slika u knjigama ili „rojeva” kroz koje glavni junak u nekim naučno-fantastičnim filmovima beži od vanzemaljaca.

Evo i nekih zanimljivosti vezanih za asteroide!

Pad asteroida većeg prečnika i mase može uzrokovati katastrofu na našoj planeti. Krajem perma, pre oko 250 miliona godina, na našoj planeti, verovatno zbog pada velikog asteroida, dogodila se kataklizma, kada je 95% svih morskih vrsta nestalo, zajedno sa 70% zemaljskih kičmenjaka. Sličan događaj bio je krajem krede, pre 65 miliona godina, kada je pad asteroida prečnika 10 kilometara uzrokovao izumiranje dinosaurus (slika 86). Ovaj zaključak je izveden i na osnovu visokog sadržaja iridijuma u kredno-tercijarnim sedimentima na celoj planeti. Iridijum je redak u Zemljinoj kori



Slika 86. Pad asteroida na Zemlju

jer je, zajedno sa drugim teškim elementima, pre svega sa gvožđem, tokom stvaranja Zemlje „otišao” u jezgro. Veliki krater na poluostrvu Jukatan može biti posledica pada asteroida. Komadi od eksplozije nađeni su do 2000 km daleko. Pri padu je stvoren cunami sa talasima visokim do 200 m, koji su prekrili ceo Meksički zaliv. Oslobođena je i ogromna količina prašine, koja je otišla u stratosferu, prekrila celu planetu, „zaklonila” Sunčevu svetlost, zbog čega decenijama nije bilo fotosinteze. Sa vremenom prašina se taložila, ali je atmosfera bila kontaminirana, te se povećala temperatura. Tlo je bilo zatrovano, zbog čega je veliki broj vrsta flore i faune nestao. Na sreću, ima i „pozitivnih” stvari. Smatra se da su se sisari naglo razvili nakon iznenadnog nestanka dinosaurusa.

Naša planeta ima čuvare, stražare. Jupiter presretne većinu objekata koji bi nas ugrozili. Da nema ovog gasovitog giganta, Zemlja bi bila pogođena asteroidima prečnika od 10 km svakih 10.000 godina a ne, kako se smatra, svakih 100 miliona godina.

Postojanje asteroidnog pojasa otvara neka pitanja o poreklu Sunčevog sistema. Zašto postoji takvo smanjenje u masi u ovom pojasu u poređenju sa predviđenom interpolacijom planetarnih masa? Da li je u asteroidnom pojasu ikada postojala samo jedna planeta, ili nije, i zašto? Podaci o brzini hlađenja gvozdenih meteorita (meteoriti će biti prikazani u posebnom poglavlju) koji dolaze od asteroida ukazuju na to da u asteroidnom pojasu nije postojala planeta jer je Jupiter svojom ogromnom silom gravitacije sprečio njeno stvaranje u tom prostoru i „pokupio” većinu mase u ovom delu Sunčevog sistema. Rast planetezimala se zaustavio u većini tela kada su dosegla prečnik oko 100 km, jer je u pojasu „nestalo” materijala.

II.3.2 SPOLJAŠNJE PLANETE

Hajdemo zajedno da sa našim mislima i vizijama odemo dalje od Sunca, Zemlje i asteroidnog pojasa, u spoljašnje delove solarne nebule u vreme kada su se stvarali gasni džinovi (giganti). Hladno je (kao i danas), dominiraju gasovi sa malo prašine koji su „pobegli” iz područja visokih temperatura. Da, nalazimo se iza „linije mraza” (slika 67), gde se rađaju gasovite planete koje su mnogo veće od terestričnih, ali znatno manje gustine. Izgrađene su od „zaostalog”, gasovitog dela solarne nebule, **H**, **He**, **C**, **N**, **O** itd. i njihovih jedinjenja. Prema hipotezama pojedinih astronoma (Safronov), vreme stvaranja planeta zavisi i od udaljenosti od Sunca. Što je rastojanje veće, one će nastajati kasnije. Pojedini autori, međutim, smatraju da su se džinovske gasovite planete formirale nešto ranije od terestričnih planeta, koje su narasle od „suvog”, stenovitog materijala koji je ostao u unutrašnjem delu magline, nebule, nakon odlaska gasova i leda. Na oko 5 AJ bilo je dovoljno hladno da se voda, metan i ugljen-dioksid zamrznu i pređu u led, koji se nagomilavao oko planetarnog embriona. Jupiter je brzo narastao i značajno prerastao (oko 10 puta) Zemlju. Sličan mehanizam stvaranja i narastanja važi i za ostale gasne gigante. Kada gasovita planeta dostigne 10–50 Zemljinih masa, ona je u stanju da privuče više **H** i **He** iz ostatka magline i da preraste u veliku planetu. Kada je formiran, Jupiter je zbog svoje ogromne mase i gravitacije imao značajan uticaj na dalji razvoj Sunčevog sistema. Smatra se da je osiromašio pojas asteroida i područje gde je nastajao Mars, zbog čega je ova planeta ostala mala. Uran i Neptun su nastali kasnije i uglavnom su izgrađeni od leda sa malim jezgrom.

Postoji velika razlika u masi između terestričnih i ogromnih, gasovitih planeta koje se nalaze iznad 5 astronomskih jedinica (AJ), ali se one razlikuju i među sobom. Jupiter i Saturn su gasni džinovi, tela sa masivnim omotačima (kapama) gasa, u čijem centru je čvrsto jezgro, dok su Uran i Neptun uglavnom od leda sa malim jezgrom. Zašto postoji razlika u sastavu? Za početak, smatra se da je solarna maglina (nebula) bila izgrađena od gasova, leda i malo stena (sastava **C1** meteorita, koji će biti detaljnije prikazani). Kada je Sunce poraslo dovoljno da „zapali” **H**, koji prelazi u **He**, razvili su se jaki solarni vetrovi, koji su oduvali gasove i led iz unutrašnjeg dela magline. Zbog toga disk, nebula oko mladog protosunca, „preživljava” samo nekoliko miliona godina. Smatra se, kao što smo pomenuli, da je nastanak terestričnih planeta bio kasnija faza, koja je počela nakon nastanka Sunca.

Gde je bilo dovoljno hladno na disku, oko 5 AJ od Sunca, voda se kondenzovala kao led, formirajući „liniju mraza”. Nastala količina leda i prašine zarobljenih na „liniji mraza” na 5 AJ, lokalno je povećala gustinu magline. Ovo povećanje gustine dovelo je do brzog rasta velikih tela i stvaranja džinovskih planeta izgrađenih od leda i malo prašine. Ledeni giganti Uran (14,5 Zemljine mase) i Neptun

(17,2 Zemljine mase) jesu preživeli primeri ovih procesa. Istovremeno, gasovi (**H** i **He**) takođe su „raspršeni” zvezdanim vetrovima. Jezgra prašine i leda mogla su da uhvate različite količine gasa silom gravitacije. Jupiter je pokupio oko 300 Zemljinih masa gasa ispred ostalih planeta i postao gravitaciono dominantan. Sadržaj gasa u Jupiteru je mnogo manji od onog koji je prisutan u izvornoj nebuli, ali je obogaćen „ledom i prašinom”. Saturn, iako ima sličnu veličinu kao Jupiter, uspeo je da „uhvati” gasove koji čine oko 80 masa Zemlje, dok su Uran i Neptun uspeli da prikupe samo jednu ili dve Zemljine mase gasa.

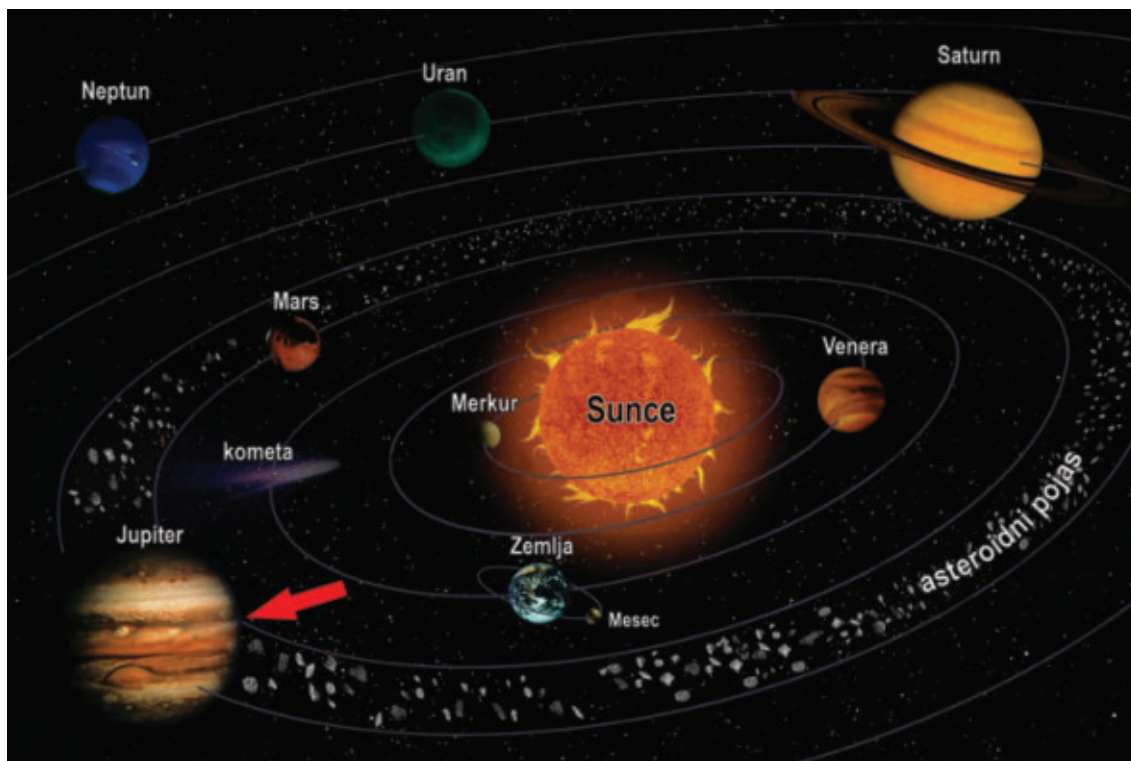
U spoljnim delovima planeta, ovi elementi se javljaju kao led i gasovi, a na većoj dubini kao tečnost ili su u čvrstom stanju. Jezgra džinovskih planeta su verovatno mešavina leda i silikata visoke gustine. U odnosu na Sunce, džinovske planete su obogaćene elementima težim od helijuma. Magnetna polja ovih planeta značajno variraju u orijentaciji ili veličini, a njihovo poreklo nije dovoljno jasno. Osim Jupitera, spoljašnje planete su visoko nagnute na svojim orbitama (Saturn 26,7°, Uran 98°, Neptun 29°). Tako veliki nagibi verovatno su nastali usled sudaranja sa drugim planetama u njihovoj ranoj istoriji stvaranja Sunčevog sistema.

Gasovite planete se, prema sastavu, dele na **gasovite džinove**, Jupiter i Saturn, i **ledene džinove**, Uran i Neptun. Sve su izgrađene od tri „glavne” komponente u solarnoj maglini: gasa, leda i relativno male količine prašine, odlomaka stena i minerala.

II.3.2.1 JUPITER

Jupiter, zajedno sa Saturnom, Uranom i Neptunom, pripada spoljašnjim, gasovitim planetama sunčevog sistema. Peta je planeta od Sunca (slika 87), sa prosečnom udaljenošću od oko 5,20 AJ, tj. oko 778.330.000 km i prvi je gasoviti džin smešten iza asteroidnog pojasa. Jupiter je najveća planeta u sunčevom sistemu, dva puta masivniji od svih ostalih planeta zajedno.

Dobio je ime po vrhovnom, starorimskom božanstvu Jupiteru (starogrčki bog je Zevs). Smatra se da je nastao 100 miliona godina nakon Sunca. Našu Zemlju značajno je prerastao. Ovakav spektakularan rast omogućen je dominantnim gasovitim sastavom solarne nebule, naravno, uz neophodnu pomoć gravitacije. Da bi Jupiter i ostale gasovite planete nastale, smatra se da treba da imaju kritičnu masu oko 10 puta veću od Zemljine.



Slika 87. Položaj Jupitera (označen crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu; napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

Gledano sa Zemlje, posle Sunca, Meseca i Venere, Jupiter je najsjajnije nebesko telo. To je reflektovana sunčeva svetlost sa gornjih delova atmosfere ovog gasovitog džina. Zbog svoje vidljivosti golim okom na noćnom nebu, Jupiter je bio poznat još u antičko doba.

Jupiter je najveća planeta u Sunčevom sistemu, sa ekvatorijalnim prečnikom od 142.984 kilometra, 11 puta većeg od Zemljinog (slika 88). Posle Sunca, ova planeta je i najmasivnije nebesko telo, sa masom od $1,8986 \times 10^{27}$ kg, što je za oko 2,5 puta veća masa od svih ostalih planeta zajedno.

Jupiterova masa se koristi kao osnovna merna jedinica u astronomiji za određivanja mase ostalih „gasovitih džinova”, vansolarnih planeta i braon patuljaka.

Gustina Jupitera je, zbog visokog sadržaja gasova, međutim mala – $1,326 \text{ g/cm}^3$, oko 4 puta manja od Zemljine.

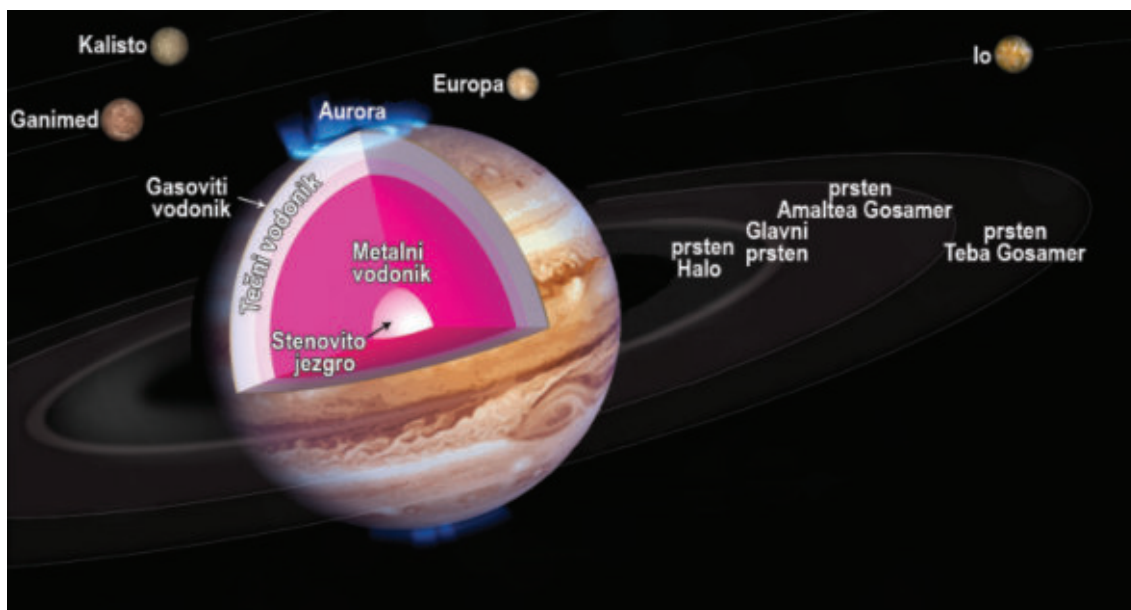


Slika 88. Međusobni odnos veličina Jupitera i ostalih planeta Sunčevog sistema; međusobna rastojanja planeta i rastojanje od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

Zbog eliptične putanje, udaljenost između Jupitera i Sunca je od 4,95 do 5,5 AJ. Jupiter obiđe pun krug oko Sunca za 11,86 zemaljskih godina. Jupiterov dan je „kratak”. Jupiter se okrene veoma brzo oko sebe, za 9 sati i 50 „zemaljskih” minuta, što uzrokuje jake centrifugalne sile, zbog čega je ova planeta na polovima spljoštena. Razlika između ekvatorijalnog ($71.492 \pm 4 \text{ km}$) i polarnog poluprečnika ($66.854 \pm 10 \text{ km}$) iznosi oko 4,638 kilometara. Smatra se da Jupiter nema čvrstu površinu. Zbog gasovitog sastava, Jupiter ne rotira istom brzinom, na ekvatoru rotira brže, a na polovima sporije.

Dok su terestrične planete, zbog visoke temperature, još tokom svoga stvaranja izgubile gasove, Jupiter i ostale gasovite planete to nisu. Jupiter je izgrađen od vodonika (oko 71%) i helijuma (29%), a sadrži malo metana, amonijaka, vodonik-deuterida, etana i vode (slika 89). Smatra se da je velika masa gasova u ovoj planeti „sačuvana” jakom gravitacijom, još od stvaranja Sunčevog sistema, pre oko 4,6 milijardi godina. Po hemijskom sastavu, Jupiter je najsličniji Saturnu.

Merenja gravitacionog polja ukazuju na to da je jezgro Jupitera sačinjeno od silikata (stena), i 10 do 15 je puta veće od Zemljinog. U njemu je, smatra se, pritisak od više desetina miliona bara i temperatura oko 20.000 K, zbog čega Jupiter zrači 1,5 puta više energije u svemir nego što prima od Sunca. Zato i klima na ovoj gasovitoj planeti malo zavisi od Sunčevih zraka.



Slika 89. Sastav Jupitera sa položajem prstenova i Galilejevih satelita

Iznad stenovitog, silikatnog jezgra, nalazi se debeli sloj metalnog vodonika, takođe pod velikim pritiskom. U ovom sloju verovatno ima malo helijuma i drugih gasova. U čvrstom je stanju i električno provodljiv, jer su vodonikovi elektroni u uslovima visokog pritiska slabo vezani, slobodni. Pomenuto svojstvo vodonika, uz brzu rotaciju, stvara jako magnetno polje. Ono je oko 14 puta jače i obuhvata 100 puta veći prostor od naše planete. Proteže se nekoliko miliona kilometara u pravcu ka Suncu i ogromnih 650 miliona km u suprotnom pravcu, gde doseže i do Saturnove orbite i putanje Jupiterovih satelita. Smer magnetnog polja suprotan je magnetnom polju na Zemlji, tj. severni magnetni pol je na južnoj, a južni na severnoj polulopti ove velike gasovite planete. Smatra se da je magnetno polje Jupitera jedan od najjačih izvora kosmičkih radio-talasa, koji ubrzavaju čestice Sunčevog vetra, stvarajući spektakularne aurore na Jupiterovom nebu.

Iznad metalnog vodonika je sloj vodonika i helijuma u molekularnom obliku, koji prelaze u gasovito stanje (bliže površini). Atmosfera koju vidimo je spoljašnji deo ovog sloja sa malo vode, ugljen-dioksida, metana i drugih jednostavnijih organskih jedinjenja.

Jupiter, slično Saturnu, ima prstenove izgrađene od čestica kosmičke prašine. Otkrila ih je svemirska letilica „Vojadžer” (Voyager) 1979. godine. Najbliži Jupiteru je prsten **Halo**, širok oko 20.000 km, koji ima oblik torusa. Na njega se nastavlja 7000 km široki **Glavni prsten**, unutar koga su i Jupiterovi sateliti Metida i Adrasteja, koji su verovatno i izvor materijala za njegovo stvaranje (udarom manjih meteorita o njihovu površinu).

Drugi manji prstenovi su Amaltea Gosamer, u kome su dva mala satelita, Amaltea i Tebe (unutar Amalteine putanje), i Teba Gosamer. Jupiterova atmosfera (slika 90) izgrađena je od vodonika (75%) i helijuma (24%), „malo” metana, helijuma, amonijaka, vode i male količine drugih gasova. Debljine je oko 1000 km

i najveća je među planetama Sunčevog sistema. Gornji deo atmosfere čine crveni oblaci od mešavine leda i vode, u središnjem delu su beli i smeđi, od kristala amonijum-hidrosulfida, a na kraju donji, plavičasti oblaci od kristala amonijakovog leda.



Slika 90. Površina Jupitera

Temperatura atmosfere varira sa visinom. Prosečna je 140 K (-133 °C). Smatra se da toplota dolazi iz jezgra i omotača, delom se stvara i oslobađa sažimanjem, skupljanjem Jupitera usled brze rotacije i velike sile gravitacije. Zbog gasovite građe, površina Jupitera nema oblik površinskog reljefa koji je karakterističan za terestrične planete. Ova planeta nema čvrstu površinu, zbog čega je granica atmosfere i njena površina određena tačka na kojoj je atmosferski pritisak 1 bar (kao na površini Zemlje). Brza rotacija značajno određuje ponašanje atmosfere. Ona uzrokuje snažna vrtloženja i turbulencije. Na Jupiteru ne postoje kopnene mase pa su vrtlozi, za naša poimanja, neshvatljivo snažni i dugi. Zbog toga je atmosfera aktivna sa jakim vetrovima. Jupiter je prepoznatljiv po velikoj crvenoj pegi, veličine oko 12.000x25.000 km, koja je otkrivena još u XVII veku. To je oluja koja traje stotinama godina, u kojoj vetrovi duvaju i preko 600 km/h, najjači vetrovi u Sunčevom sistemu. Jupiterova atmosfera je sastavljena od gasova bez boje, pa je njeno poreklo u Velikoj crvenoj pegi još uvek nepoznanica. Mnogobrojni okruglasti ili okrugli vrtlozi i talasi na površini ove planete su dugotrajna i snažna gasovita strujanja.

Neposredno iznad atmosfere se nastavlja jonosfera, koja se pruža daleko u prostor i obuhvaćena je magnetosferom, područjem sa svojstvenim oblikom magnetnog polja.

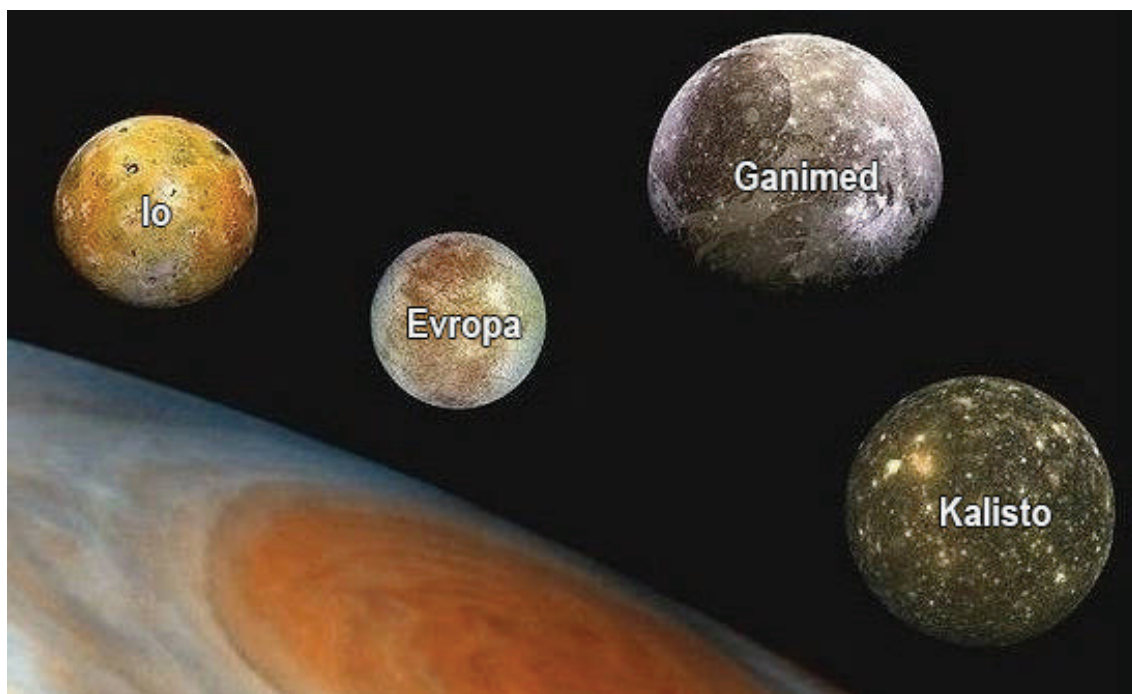
Jupiter ima 80 poznatih prirodnih satelita, koji su podeljeni na nekoliko grupa. Većina ima poluprečnik manji od 10 km. Prikazaćemo unutrašnje satelite i Galilejeve satelite, na kojima su otkriveni organski molekuli.

U unutrašnje satelite spadaju Amalteja, Metida, Adrasteja i Teba i oni se nalaze na spoljašnjoj strani glavnog prstena.

Galilejeve satelite otkrio je Galileo Galilej 1610. godine, i po njemu su i dobili ime. Najveći se vide sa Zemlje običnim teleskopom. Po obliku i veličini slični su terestričnim planetama, zbog čega će biti detaljnije opisani. Ima ih četiri: Kalisto, Ganimed, Evropa i Io (slika 91). Okreću se u ravni Jupiterovog ekvatora i imaju slabo izdužene orbite.

Kalisto ima površinu sa najvećom gustinom kratera u Sunčevom sistemu. Najtamniji je od svih Galilejevih satelita i sa malo kontrasta. Reljef mu je ravan, bez planina, što ukazuje na to da se njegova kora vremenom zaravnjava, slično procesima kretanja i spuštanja lednika na Zemlji. Markantan morfološki oblik je Valhala, sistem koncentričnih krugova poluprečnika 1500 km, verovatno nastao udarom većeg nebeskog tela.

Ganimed je veći od Merkura. Ima raznoliku geološku površinu sa mnogobrojnim udarnim kraterima, oko kojih su beli zraci, verovatno izbačeni led, stopljen, pa ponovo zaleđen.



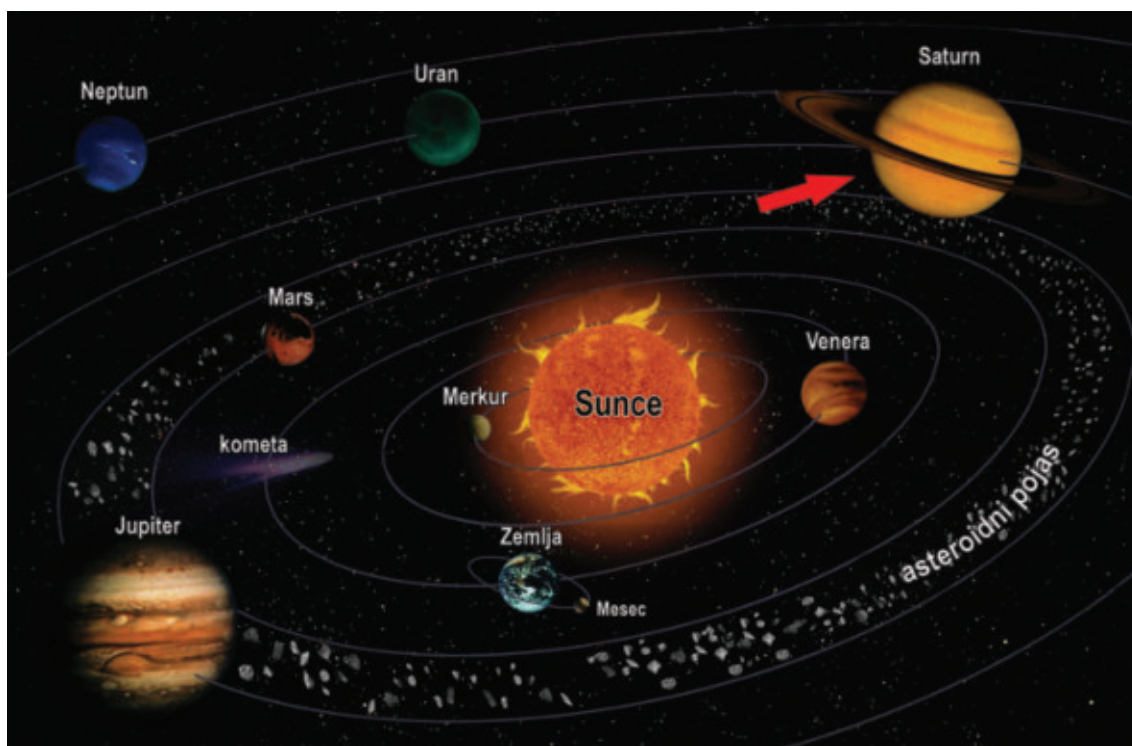
Slika 91. Galilejevi sateliti; njihove orbite oko Jupitera nisu prikazane

Evropa je prekrivena ledom. Sjajnija je od Meseca, od koga je manja. Ledena površina ovog satelita je skoro ravna, prošarana izlomljenim sivkastim prugama, koje su verovatno ponovno zaleđeni prostor među ledenim santama. Dužine su par hiljada kilometara, širine do nekoliko stotina kilometara. Otkriveno je i nekoliko udarnih kratera prečnika oko 20 km.

Io ima najsnažniju vulkansku aktivnost u Sunčevom sistemu. Po veličini i gustini sličan je Mesecu. Površina mu je, zbog erupcija vulkana, crveno-narandžasta do svetlo žuta. Krateri su karakterističan vulkanski oblik na ovom Jupiterovom satelitu. Za vreme erupcija lava i gasovi izdižu se i do preko 70 km visine. Na ovom satelitu su i mnogobrojni rasedi i pukotine dužine nekoliko stotina kilometara.

II.3.2.2 SATURN

Saturn je gasovita planeta, šesta po udaljenosti od Sunca (slika 92). Ima najmanju gustinu među planetama Sunčevog sistema, koja je manja od vode, $0,690 \text{ g/m}^3$, što znači da bi Saturn „plivao” po zemaljskim morima i okeanima.



Slika 92. Položaj Saturna (označen crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu; napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

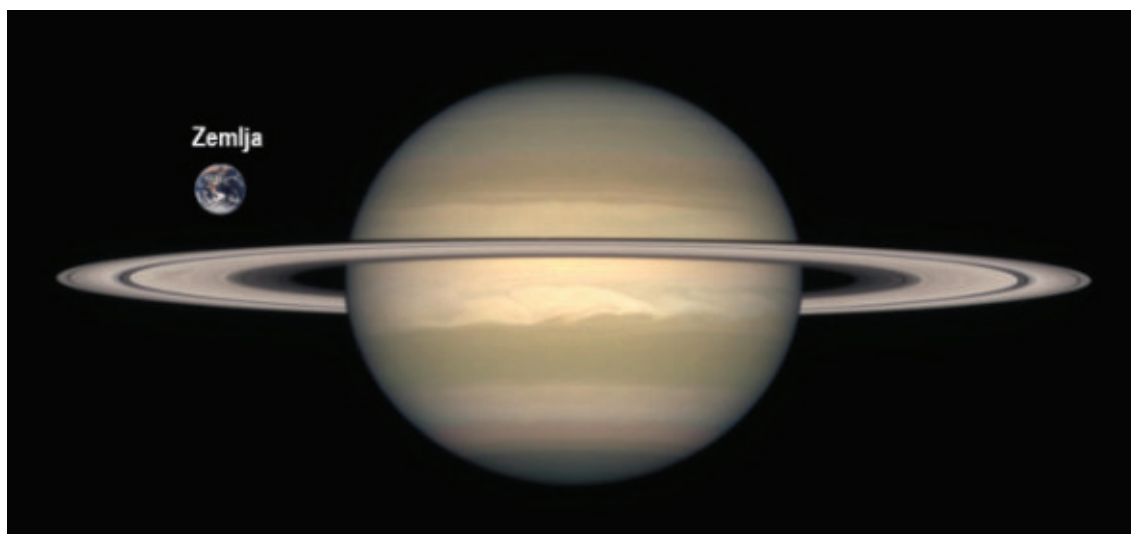
Ova planeta obiđe oko Sunca za 29,35 „naših” godina na srednjoj udaljenosti od 9,54 AJ, odnosno $1426 \times 10^9 \text{ km}$. U ekvatorijalnom području Saturn napravi oko sebe pun krug vrlo brzo, za 10 h 14 min, dok se jezgro okreće malo sporije, za 10 h 39 min 22 s, koliko traje i njegov dan. Zbog veoma brze rotacije i gasovitog sastava, Saturn ima oblik elipsoida.

Prečnik na ekvatoru je 120.536 km. Razlika između ekvatorijalnog i polarnog prečnika je 10%, pa je ovo najviše spljoštena planeta u Sunčevom sistemu.

Masa ove spoljašnje, gasovite, planete je $5,68 \times 10^{26} \text{ kg}$ i 95 puta je veća od Zemljine (slika 93).

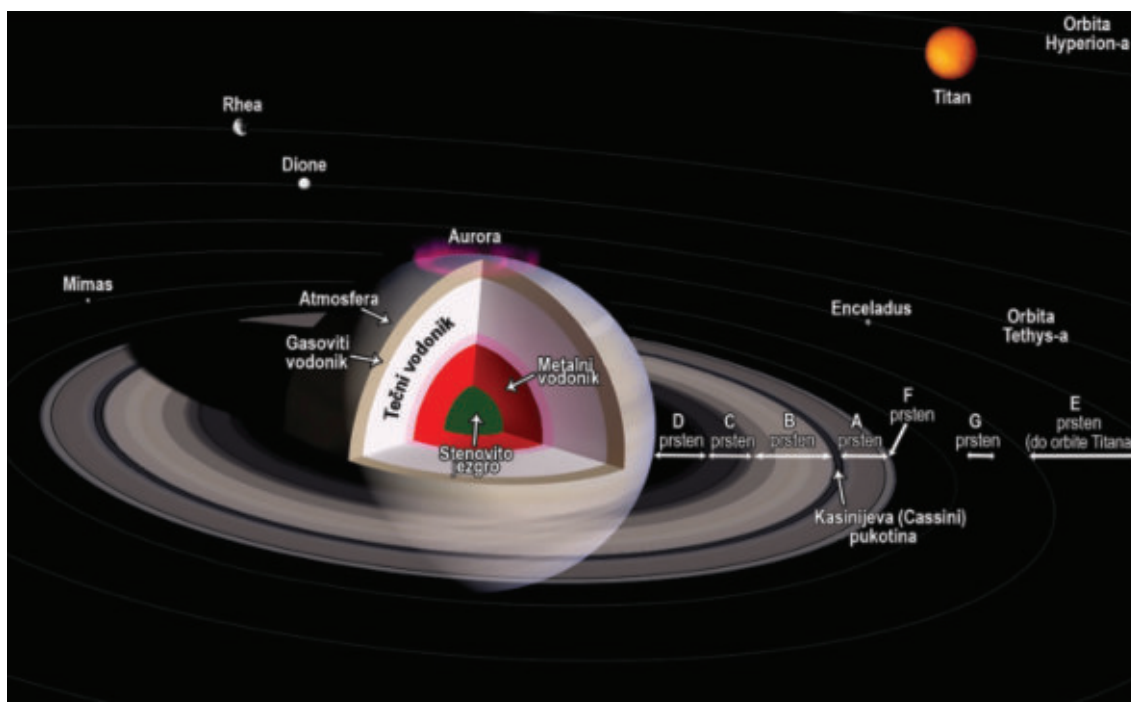
Saturn odbija oko 47% Sunčeve svetlosti (albedo 0,47), zbog čega je posle Sunca, Meseca, Jupitera i Venere, on najsvetlije nebesko telo koje se može videti i manjim amaterskim teleskopom.

Saturn je izgrađen od vodonika (75%), helijuma (25%) i ostalih gasova, kao što su vodena para, metan, amonijak itd. Pomenuti odnosi sadržaja gasova odgovaraju sastavu nebule iz koje je stvoren Sunčev sistem. Po sastavu, sličan je Jupiteru.



Slika 93. Veličina Saturna u poređenju sa Zemljom

Jezgro Saturna je, smatra se, sastavljeno od silikata, stena i 20 puta je veće od mase Zemlje. U njemu je temperatura oko 12.000 K. Izvor toplote iz jezgra je veći od količine energije koju dobija od Sunca. Sledeći sloj je metalni vodonik, koji je na mnogo većoj dubini nego kod Jupitera. Iznad je tečni vodonik sa malo metana i vode, a na kraju gasoviti vodonik sa primesama metana i vode (slika 94).



Slika 94. Sastav Saturna sa položajem prstenova i nekih satelita

Saturn ima jako magnetno polje, 600 puta veće od Zemljinog, ali je slabije od Jupiterovog jer su jezgro i metalni vodonik na većoj dubini. Proteže se i do 25 poluprečnika ove planete. Osa rotacije se poklapa sa osom magnetnog polja, a razlika je samo 1° . Po obodnim delovima ove planete magnetno polje je slično do jednako magnetnom polju na površini Zemlje.

Veliki uticaj na magnetno polje ima i Saturnov satelit Dione. Pozitivni joni vodonika i kiseonika „izbijenih” sa njegove i površine drugog satelita, Tetisa, stvorili su unutarnji torus, koji se proteže 400.000 km od središta Saturna. Na njega se nastavlja plazma dužine oko 1.000.000 km. Saturnova magnetosfera menja se i sa jačinom Sunčevog vetra, a na nju utiče i rep Jupiterove magnetosfere.

Međusobno delovanje magnetosfere, atmosfere i Sunčevog vetra na Saturnu slično je kao na Zemlji, stvara polarnu svetlost. Period okretanja magnetosfere je 10 sati i 40 minuta, što ukazuje i na brzinu okretanja Saturnovog jezgra, u kojem je i stvorena.

Saturn je prepoznatljiv po prstenovima. Imaju visok albedo, refleksiju (0.7), pa ih je lako videti i kroz amaterski teleskop. Izgrađeni su od komada leda i odlomaka minerala i stena veličine od nekoliko centimetara do nekoliko metara (slika 94). Otkrio ih je Kristijan Hajgens davne 1655. godine. Smatra se da su prstenovi nastali kada je jedan od Saturnovih prirodnih satelita upao u nisku orbitu, zbog čega je „rastrgnut”, polomljen ili se raspao usled sudara sa kometom. Pojedini astronomi smatraju da su prstenovi nastali istovremeno sa Saturnom, što je, po mišljenju većine istraživača ove planete, manje verovatno.

Svaki od glavnih prstenova se sastoji od mnoštva mini prstenova, ogromnog prečnika, preko milion km. Sudarima ledenih i stenovitih fragmenata rasipa se kinetička energija, zbog čega će prstenovi vremenom nestati, veruje se, za oko 100 miliona godina. Prstenovi su označeni prema redosledu otkrivanja, slovima abecede, od **A** do **G**. Nalaze se 6630 km do 120.700 km iznad Saturnovog ekvatora. Prstenovi bliže Saturnu se brže okreću od onih koji su dalje od ove planete.

Saturnovi prstenovi su široki preko 250.000 km, ali veoma tanki, oko 1,5 km. Teleskopom se najbolje vide prstenovi **A**, **B** i **C**. Između njih su prazni prostori, pukotine. Najizraženija je **Kasinijeva pukotina**, koja se nalazi između prstenova **A** i **B**, a ime je dobila po italijanskom astronomu Đovaniju Domeniku Kasiniju (Giovanni Domenico Cassini), koji ju je otkrio 1675. godine.

Sateliti svojom silom gravitacije utiču na oblik, veličinu i položaj prstenova. Atlas, Prometej i Pandora „čuvaju” prsten A, dok su drugi „odgovorni” za nastanak pukotina među prstenovima.

U Saturnovoj atmosferi ima vodonika (93%), helijuma (5%) i malo metana, vodene pare, azota itd. To su svetli i tamni oblaci koji nastaju, za razliku od Jupitera, na manjim visinama, gde je temperatura niska, kada se gasovi zamrzavaju i kristališu. U atmosferi ove planete takođe su jaki vrtlozi, turbulencije, strujanja i vetrovi, koji na ekvatoru „duvaju” prema istoku, neverovatnom brzinom od 500 m/s stvarajući „pege”, koje traju i po nekoliko meseci. Njihova jačina opada idući

ka polovima. Uočena je i simetrija kretanja atmosferskih strujanja između severne i južne polulopte, koja ukazuje na to da se spajaju u njegovom ekvatorijalnom području. Najniža temperatura, 82 K izmerena je u području gde je pritisak 70 milibara. Temperatura ispod severnog pola je za oko 10 K niža u odnosu na umerene širine. U atmosferi Saturna vladaju pritisci od ogromnih 140 kPa.



Slika 95. Veličina i međusobni odnos pojedinih Saturnovih satelita; zvezdica iznad imena satelita označava da je njegova veličina uvećana 5 puta kako bi se grafički mogli prikazati (napomena: imena satelita napisana su na engleskom jeziku)

Svemirski teleskop „Habl” (Hubble) 1990. godine snimio je ogromnu pegu na ekvatoru Saturna koje nije bilo u vreme prolaska „Vojadžera”. Analizom satelitskih snimaka utvrđeno je da su „pege” postojale 1876, 1903, 1933. i 1960. godine, uvek sredinom leta na Saturnovoj severnoj polulopti.

Saturn ima 83 poznata satelita (slika 95), ali taj broj nije konačan. Podeljeni su u grupe koje nose ime po najistaknutijem satelitu:

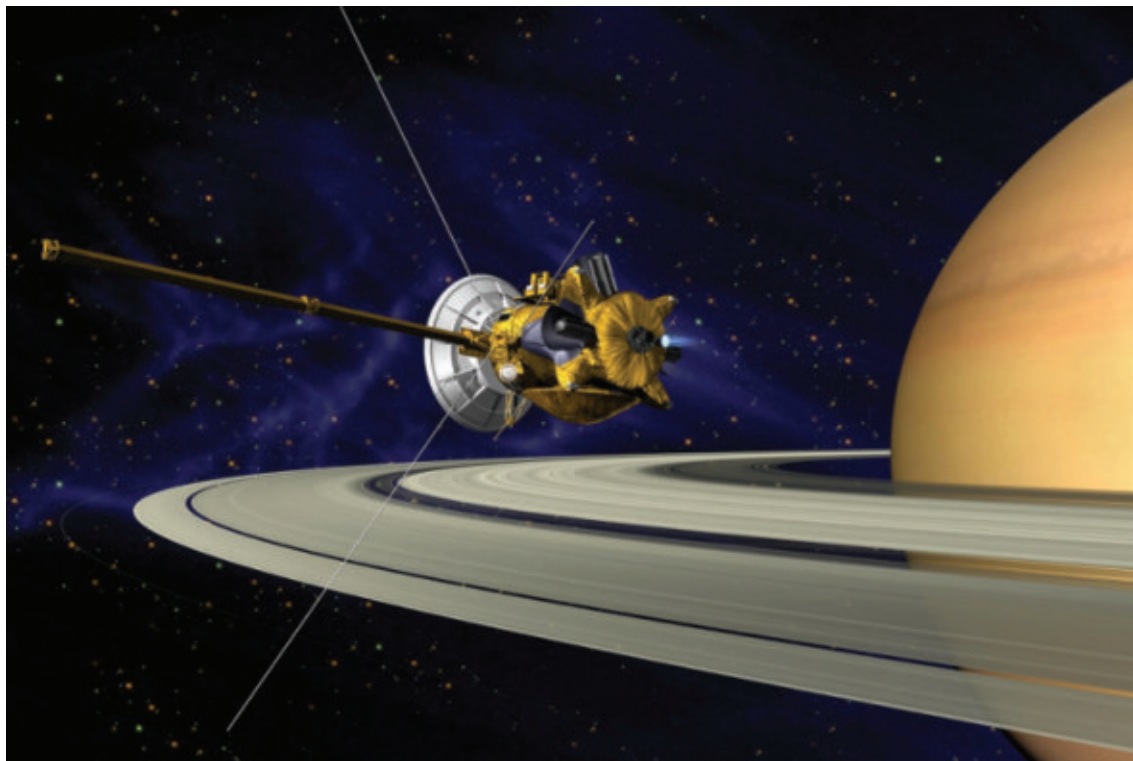
- grupa Jan, u kojoj su: Jan, Mimas, Encelad, Tetida, Diona, Reja, Titan, Hiperion;
- grupa Sijarnak (Siarnaq) sa Kivijukom (Kiviuq), Idžirak (Ijiraq), Pali-jak (Paaliaq), Albioriks (Albiorix), Erijapo (Erriapo), Sijarnak (Siarnaq) i Tarvos i
- grupa Feba (Phoebe): Feba, Skadi, S/2003S1, Mundilfari, Sutungr (Suttungr), Trirm (Thyrm) i Imir (Ymir) itd.

Veći sateliti imaju sinhronu rotaciju, osim Febe, koja ima retrogradnu i nagnutu putanju pa se smatra da je zarobljeni asteroid. Hiperion je jedino telo u Sunčevom sistemu koje ima haotičnu rotaciju.

Navedimo i trideset Saturnovih satelita po udaljenosti od ove planete: Pan, Atlas, Prometej, Pandora, Epimetej, Janus, Mimas, Encelad, Tetida, Telesto, Kalipso, Diona, Helena, Reja, Titan, Hiperion, Japet, Kivijuk, Idžirak, Feba, Paalijak, Skadi, Albioriks, Erijapo, Sijarnak, Tarvos, Mundilfari, Sutungr, Trimr, Imir i S/2003.

Saturn su istraživale kosmičke letilice „Pionir (Pioneer) 11” (1979), „Vojadžer 1” (1980), „Vojadžer 2” (1981 godine). Fotografije koje su snimili pokazuju da su pomenuti prstenovi u stvari hiljade manjih, tanjih prstenova.

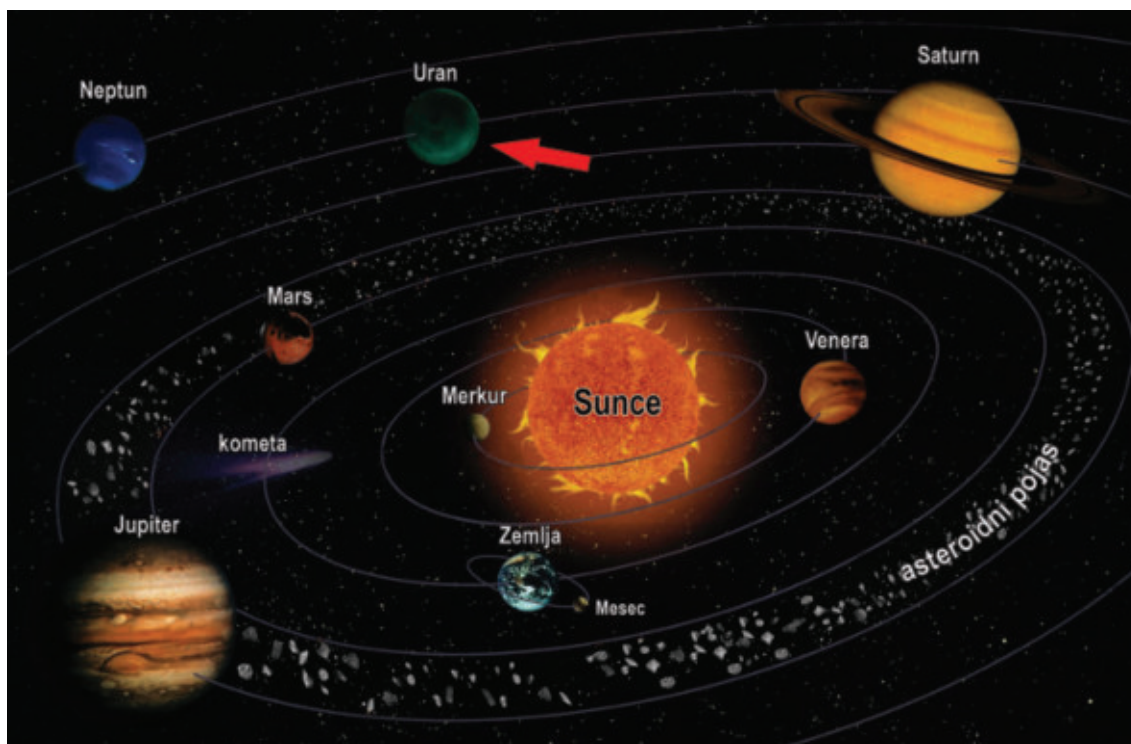
Kosmička letilica „Kasini-Hajgens” (Cassini-Huygens) 2004. godine ušla je u orbitu oko Saturna i počela četvorogodišnju misiju istraživanja ove planete (slika 96). Ova letelica je 2005. godine spustila sondu „Hajgens” na površinu Saturnovog najvećeg satelita Titana.



Slika 96. Kosmička letelica „Kasini-Hajgens”

II.3.2.3 URAN

Uran je sedma planeta po udaljenosti od Sunca, treća najveća i četvrta najmasivnija planeta u Sunčevom sistemu (slika 97). Dobio je ime po starogrčkom božanstvu neba Uranu, ocu Krona (Saturna) i dedi Zevsa (Jupitera).



Slika 97. Položaj Urana (označen crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu; napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

Od Sunca se nalazi na srednjoj udaljenosti od 19,23 AJ. Uran ima visok albedo i odbija oko 51% Sunčeve svetlosti. Kada su idealni osmatrački uslovi, može se videti i golim okom. Zanimljivo je da je Uran prva planeta otkrivena teleskopom. Do tada se smatralo da je Saturn spoljašnja granica Sunčevog sistema. Uran je viđen i mnogo puta ranije, ali je na kartama prikazivan kao obična zvezda.

Uran se okreće oko Sunca sporo jer je od njega daleko. Pun krug napravi za 84,32 Zemaljske godine, ali se oko sebe okrene veoma brzo, za 17 sati i 14 minuta, zbog čega je, budući da je gasovita planeta, spljošten. Ima i diferenciranu rotaciju, dan mu je duži na ekvatoru, a kraći na polovima. Uran se obrće oko svoje ose u suprotnom smeru od većine planeta u Sunčevom sistemu.

Vilijam Heršel (slika 98), muzičar (svirao na crkvenim orguljama), ali i astronom amater, otkrio je 1781. novu planetu, **Uran**, proširivši Sunčev sistem. Nakon nekoliko godina, ovaj zaljubljenik astronomije, otkrio je i dva velika Uranova sa-



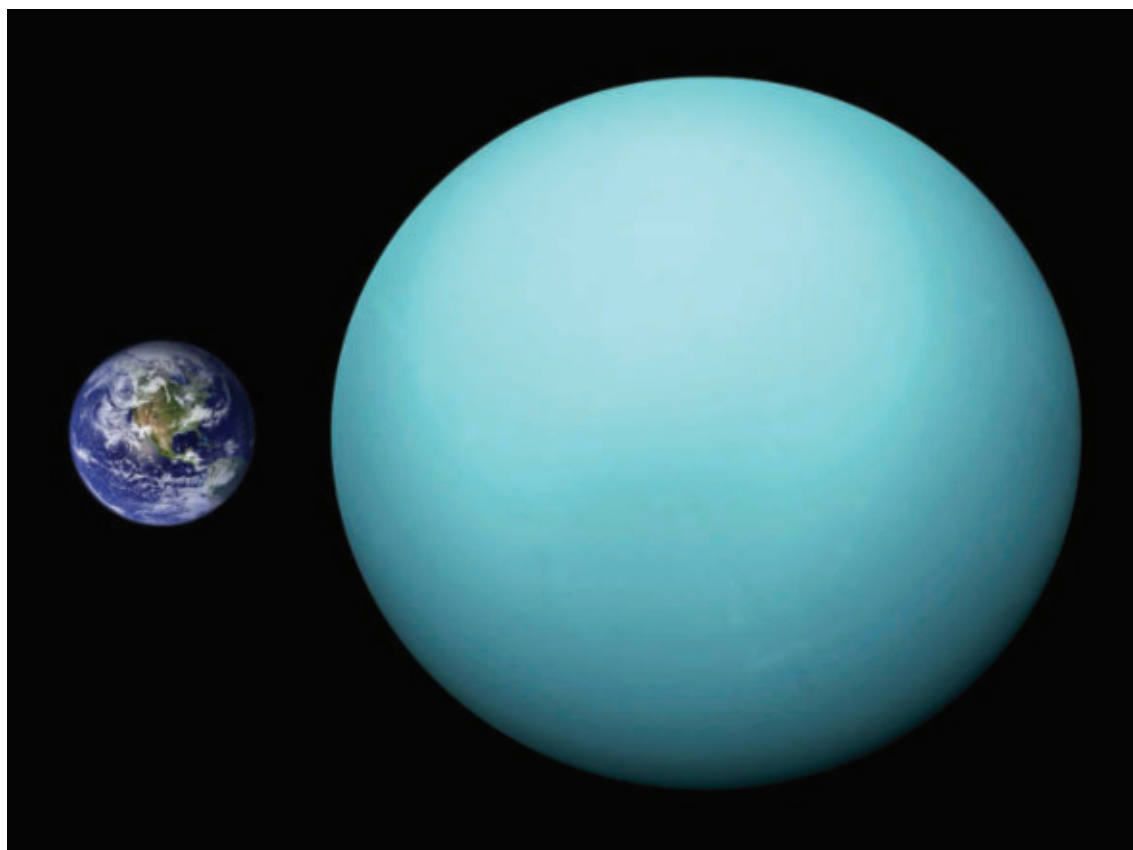
*Slika 98. Vilijam Heršel
(1738–1882)*

telita, Titaniju i Oberon. Ovo otkriće pronalazaču je donelo slavu i nagradu londonskog Kraljevskog društva, doživotnu penziju od 200 funti i zvanje dvorskog astronoma, čija je jedina dužnost bila da kraljevskoj porodici pokazuje nebeska tela kada mu se to zatraži. Umro je slavan i poštovan u 84. godini života, koliko traje i jedan obilazak planete koju je otkrio oko Sunca.

Uran, kao i Neptun imaju drugačiju unutrašnju građu i sastav od Jupitera i Saturna, zbog čega se svrstavaju u posebnu grupu, „ledenih džinova”.

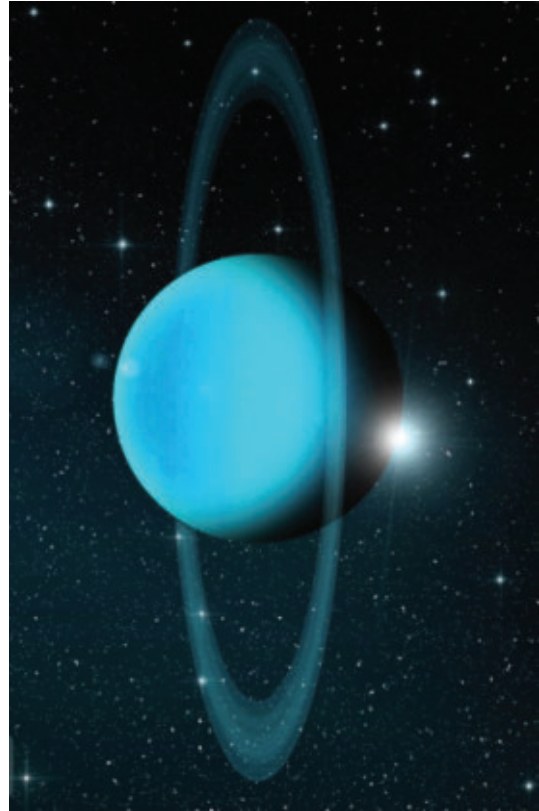
Uran je posle Saturna planeta sa najmanjom gustinom, koja iznosi 1,27 grama po kubnom centimetru, ali mu je masa još uvek oko 14,5 puta veća od mase naše planete. Ekvatorijalni prečnik Urana je 51.118 km, oko 4 puta veći od Zemljinog (slika 99).

Uran ima jedinstvenu karakteristiku, leži postrance u ravni orbite, pa mu je severni pol okrenut ka Suncu polovinu godine, a južni pol drugu polovinu godine (slika 100). Zbog toga na ovoj planeti postoje ekstremne temperaturne razlike, kada jedan deo dobija toplotu od Sunca, dok je drugi jako hladan. U drugoj polovini godine je obrnuto. Zbog toga je osa obrtanja Urana skoro horizontalna (pod nagibom

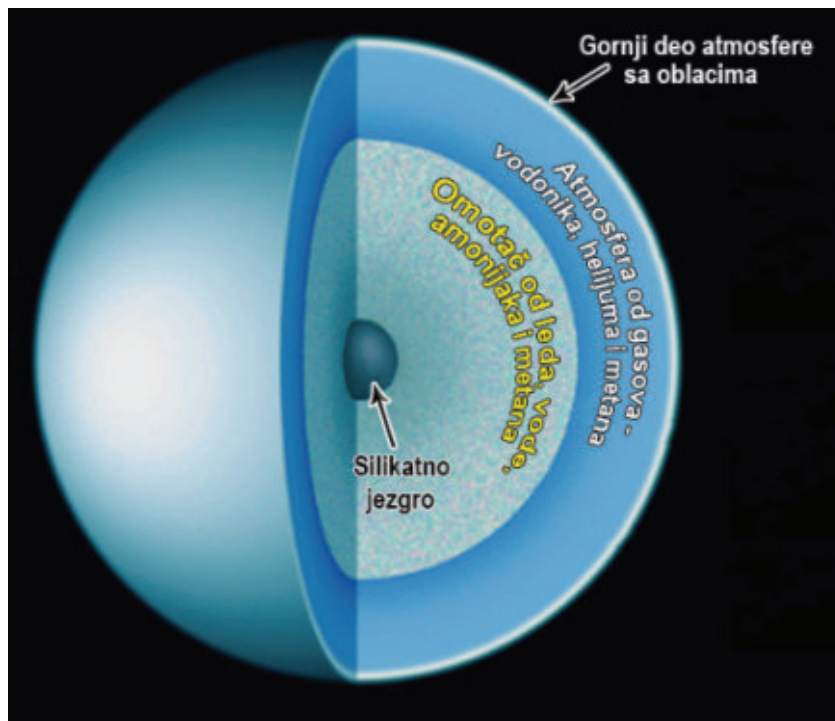


Slika 99. Uran u poređenju sa veličinom Zemlje

97,8 stepeni), tj. položena na bok, pa se ova planeta „kotrlja” ekvatorom po orbiti. Tamo gde su severni i južni pol kod većine „normalnih” planeta na orbiti, kod Urana je ekvator. Smatra se da je uzrok ove pojave sudar Urana sa telom veličine Zemlje u ranoj fazi stvaranja Sunčevog sistema. Pomenuti horizontalni položaj uzrokuje i drugačiju promenu godišnjih doba u odnosu na ostale planete. Polovinu vremena obilaska oko Sunca, oko 42 zemaljske godine, jedan pol je usmeren u pravcu naše zvezde, a drugu polovinu drugi pol, pri čemu je područje pola koje je okrenuto Suncu „dnevno”, a područje drugog „noćno”. To znači da od izlaska do zalaska Sunca na Uranu treba čekati 42 zemaljske godine. Uranovo jezgro je verovatno izgrađeno od silikata i leda i nema dovoljnu temperaturu da bi zračilo toplotu. Oko njega je omotač, debljine oko 11.000 km, sastavljen od zaleđene vode, metana i amonijaka, koji postupno prelazi u atmosferu (slika 101).



Slika 100. Položaj Urana u orbiti oko Sunca



Slika 101. Struktura Urana

Atmosfera Urana izgrađena je od vodonika (83%) i helijuma (15%), malo metana (2%), sa tragovima vode i amonijaka. Metan u atmosferi daje Uranu karakterističnu modrozelenu boju jer upija svetlost komplementarnih boja. Infracrvenim zračenjem je utvrđeno da se u atmosferi nalazi i sloj sa povišenom temperaturom do 100 K, u kome su, smatra se, metan i vodonik gasoviti, dok je amonijak u tečnom i čvrstom stanju.

Atmosfera Urana je čista, providna do velikih dubina, gde su oblaci smrznutog metana. Na polarnim područjima je sumaglica. Iako nije najudaljenija od Sunca, Uran je najhladnija planeta. Najniža temperatura od 49 K (-224 °C) jeste u atmosferi, koja je najhladnija planetarna atmosfera u Sunčevom sistemu. Smatra se da su u njenom donjem delu oblaci sa vodom, a u gornjim, višim delovima, sa metanom.

Na ekvatoru vetrovi duvaju u suprotnom smeru od okretanja Urana, znatno sporije nego na ostalim gasovitim planetama. Uran ima slabo izražene, teško uočljive pojaseve, trake, paralelne sa ekvatorom. Svetli oblaci su verovatno od kristala metana.

Fotografije sa teleskopa „Habl” pokazuju da ima aktivnosti u atmosferi Urana, koje verovatno nastaju promenom položaja ove planete prema Suncu.

Kada naša zvezda obasjava područje ekvatora, izmena dana i noći ima značajan uticaj na temperaturu pojedinih delova Urana. Zbog toga ima i godišnjih doba.

Magnetno polje Urana je nagnuto 55° prema osi rotacije i verovatno nastaje blizu površine. Za sada nema podataka šta je njegov izvor. Slično je zemaljskom magnetnom polju, ali se po intenzitetu menja. Kod ove planete postoji magnetni rep koji je savijen u spiralu i koji se proteže preko 10 miliona km iza Urana, a u suprotnom smeru od Sunca.

Do danas je otkriveno 27 Uranovih prirodnih satelita. Gustina im je veća nego kod Saturnovih satelita. Imena su dobili po imenima likova iz dela Vilijama Šekspira i Aleksandra Pope. Svi Uranovi sateliti izgrađeni su od stena i vodenog leda. Delimo ih u tri grupe:

- 13 unutarnjih malih i tamnih satelita koje je otkrio „Vojadžer 2”; idući od Urana to su Kordelija (Cordelia), Ofelija (Ophelia), Bjanka (Bianca), Kresida (Cressida), Dezdemona (Desdemona), Julija (Juliet), Porcija (Portia), Rozalinda (Rosalind), Kupidon (Cupid), Belinda, Perdita, Pak (Puck) i Mab (napisani su, kao i naredni, i na srpskom i na engleskom jeziku);

- grupa 5 velikih satelita: Miranda, Arijel (Ariel), Umbrijel (Umbriel), Titanija i Oberon;

Arijel i Umbrijel imaju manju gustinu od Titanije i Oberona, što je vrlo neobično. Na Mirandi se mogu uočiti raznoliki geološki oblici: doline, strmine, pukotine, krateri, terase. Na Arijel su uočeni brojni rasedi i veliki broj depresija. Površina Umbrijela je neravna od brojnih udarnih kratera, a neki od njih su sa svetlom korom. Na Titaniji su brojni krateri i kanjoni, a na Oberonu ima nekoliko velikih udarnih kratera;

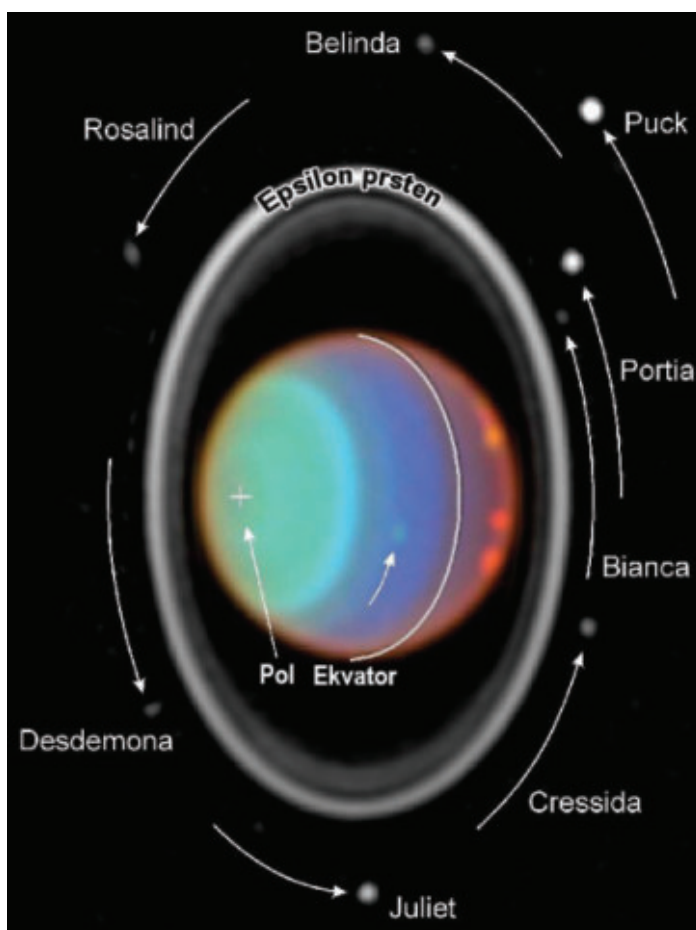
- 7 spoljašnjih satelita, koji su otkriveni 1997. godine i kasnije: Francisko (Francisco), Kaliban (Caliban), Stefano (Stephano), Trinkul (Trinculo), Sikoraks (Sycorax), Prospero, Setebos i Ferdinand.

Pojedini od Uranovih satelita su veliki, ali većina ima prečnik od nekoliko desetina kilometara. Pet najvećih satelita su Titanija (1578 km), Oberon (1522 km), Umbrijel (1170 km), Arijel (1158 km) i Miranda (472 km).

Na Uranu ima 13 prstenova (slika 102), koji su manje upadljivi od Saturnovih. Veoma su uski, sve ukupno oko 170 km, a između njih su velike praznine.

Prstenovi leže približno u ravni Uranovog ekvatora. Odbijaju malo svetlosti (albedo im je 0,03), zbog čega su tamni. Najudaljeniji je prsten Epsilon, koji je takođe i najsvetliji. Prstenovi su izgrađeni od čestica prašine i komada stena, minerala, prečnika do oko desetak metara. Prstenovi su eliptični, naročito spoljašnji, i nisu celoviti kao kod Saturna. Devet prstenova obiđe Uran svakih 8 sati, dva puta većom brzinom od brzine rotacije, koja je 16 sati.

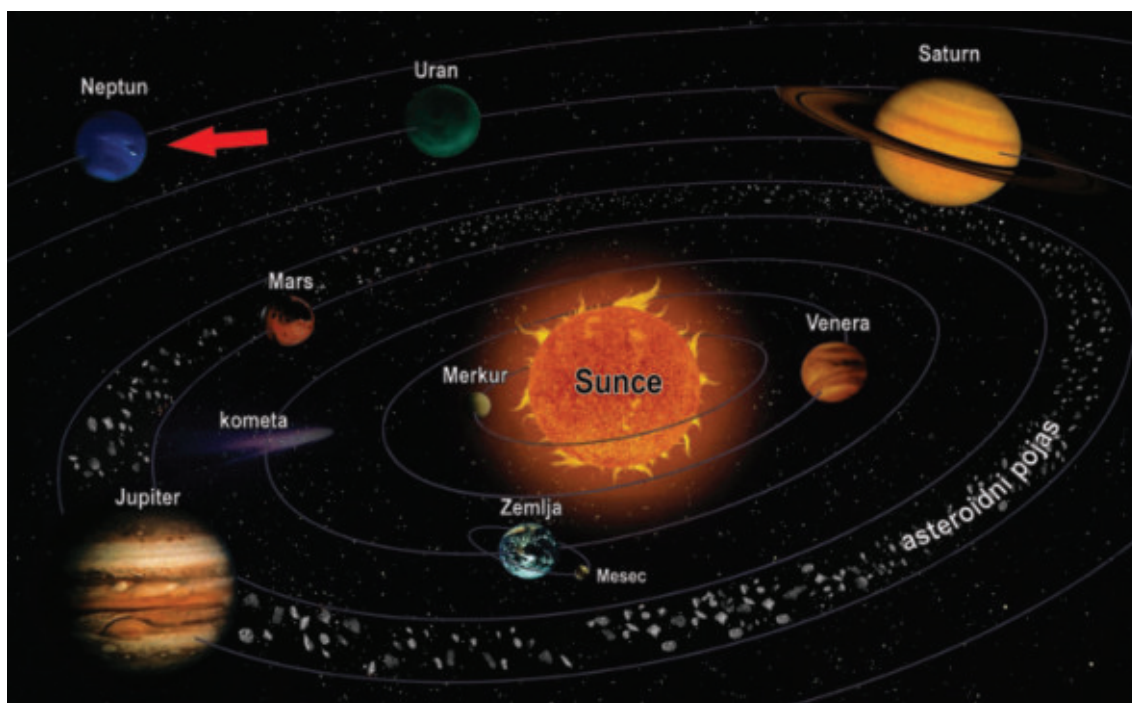
Do sada je samo jedna svemirska letelica, „Vojadžer 2” posetila Uran, 1986. godine, kada su napravljene fotografije 5 poznatih Uranovih satelita i kada je otkriveno 10 novih satelita, kao i dva nova Uranova prstena.



Slika 102. Položaj pojedinih prirodnih satelita Urana i prstena Epsilon

II.3.2.4 NEPTUN

Neptun je osma po redu i najudaljenija planeta od Sunca (slika 103). Nazvana je po rimskom bogu mora, Neptunu (grčki Posejdon) sa trozupcem, prepoznatljivim simbolom.



Slika 103. Položaj Neptuna (označen crvenom strelicom) u Sunčevom sistemu; napomena: veličina, međusobni odnosi planeta i rastojanja od Sunca, zbog preglednosti, nisu u srazmeri

Četvrta je po veličini, treća po masi među planetama Sunčevog sistema i 17 puta veća od Zemlje. Prečnik Neptuna je 24.764 km, skoro četiri puta veći od Zemljinog (slika 104). Neptun je smatran najudaljenijom poznatom planetom, sve do otkrića Plutona 1930. godine. Nakon šest decenija, 1992. godine, otkriven je i Kajperov pojas, kada su astronomi, zbog njegove male veličine i „neraščišćene” orbite, 2006. godine svrstali Pluton u grupu patuljastih



Slika 104. Odnos veličina Neptuna i Zemlje



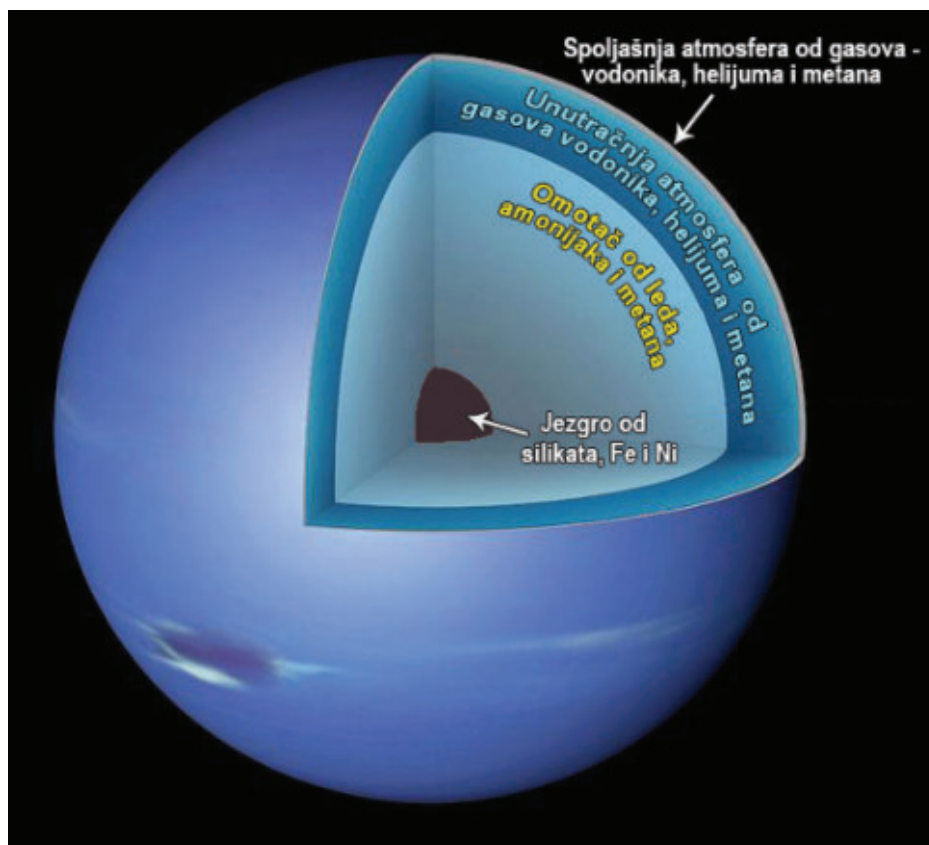
Slika 105. Odnosi veličina „gasnih“ i „ledenih“ džinova, spoljašnjih

planeta. Neptun ponovo postaje najudaljenija planeta u Sunčevom sistemu. Neptun, zajedno sa Uranom spada u „ledene džinove“ jer su manji od Jupitera i Saturna, ali imaju veći sadržaj gasova od ovih planeta (slika 105).

Zanimljiva je i priča o otkriću i položaju ove planete. Nakon velike, burne i žustre rasprave i revizije, utvrđeno je da Irben Levrije (Urbain Le Verrier; slika 106) ima najveće zasluge za njegovo otkriće. Matematičkim proračunima, a ne osmatranjima, 1846. godine on je predvideo postojanje nove planete (Neptuna) i uveravao astronome da je potraže. Johan Gotfrid Gale (Johann Gottfried Galle) bio je prva osoba koja je posmatrala Neptun znajući da se radi o planeti.



*Slika 106. Irben Levrije
(1811–1877)*



Slika 107. Struktura Neptuna

Neptun je izgrađen je od jezgra, omotača i atmosfere (slika 107). U središnjem delu je jezgro od silikata, moguće i dela gvožđa i nikla, veličine kao Zemlja, u kome su temperature do 5000 K i pritisci od 7 miliona bara, zbog čega emituje više toplote nego što dobija od Sunca. Oko njega je omotač od leda, vode, metana i amonijaka, za koga pojedini astronomi smatraju da je vrući fluid, velike gustine i da ima električnu provodljivost.

Pojedini astronomi smatraju da na dubini od 7000 km postoje P-T uslovi da se iz metana stvori dijamant, koji zbog veće gustine tone ka jezgru. Ima i mišljenja da se u omotaču molekuli vode razlažu na vodonik i kiseonik, koji na većim dubinama kristališu, dok se joni vodonika slobodno kreću. Neptun je udaljeniji od Sunca nego Uran, ali su njihove površinske temperature slične jer Neptun isijava oko 2,61 puta a Uran 1,1 puta više energije nego što primaju od Sunca. Atmosfera Neptuna gradi oko 5–10% njegove mase. Proteže se od 10% do 20% prema unutrašnjosti, gde je veći sadržaj metana, amonijaka i vode sa pritiskom do oko 10 GPa. Plava boja Neptuna potiče od metana.

Viši delovi atmosfere izgrađeni su od 80% vodonika i 19% helijuma, dok metan čini 1% i daje plavu boju, sličnu Uranu, sa nijansama cijan plave.

U gornjim delovima atmosfere temperatura je oko -220 °C. Idući ka površini Neptuna, ona raste. Smatra se da porast temperature atmosfere, tj. izvor toplote potiče od radioaktivnog raspadanja, pretvaranja metana u vodonik i dijamant

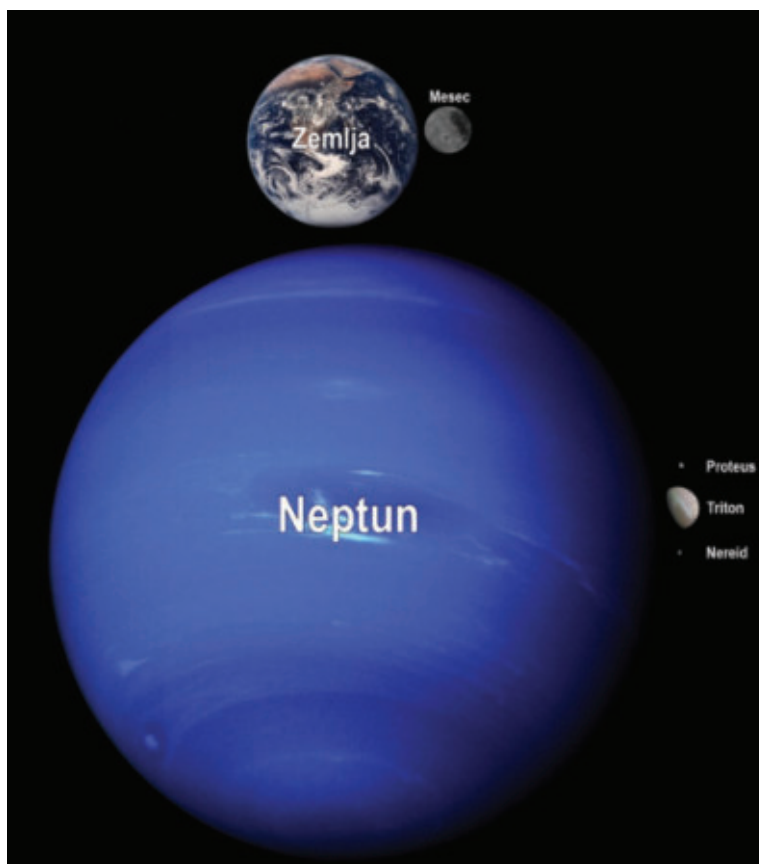
pod velikim pritiscima ili konvekcije u donjim delovima atmosfere koja „razbija” gravitacione talase. Razlika u temperaturi atmosfere omogućava kretanje najjačih planetarnih strujanja u Sunčevom sistemu.

Na Neptunu duvaju snažni vetrovi, brzine i do neverovatnih 2000 km/h, koji su intenzivniji na ekvatoru nego na polovima. Većina vrtloga na Neptunu se kreće u suprotnom smeru od rotacije planete, a najveći vrtlog je Velika tamna pega, veličine 13.000x6600 km, sa obodom od „belih cirusa” na južnoj polulopti. Otkrivena je tokom preleta „Vojadžera” 1989. godine. Pet godina kasnije, svemirski teleskop „Habl” nije uočio ovu pojavu, ali je na severnoj polulopti otkrio novu, što ukazuje na to da je atmosfera Neptuna veoma aktivna.

Nagib ose Neptuna je 28,32° i sličan je nagibima ose Zemlje (23°) i Marsa (25°), zbog čega Neptun ima slične sezonske promene.

Magnetno polje Neptuna je nagnuto u odnosu na osu rotacije za 47°, verovatno zbog procesa koji se dešavaju u unutrašnjem delu planete, konvekcije unutar omotača, koji je izgrađen od tečnog amonijaka, metana i vode, koji su ispod. Magnetno polje ima složenu geometriju.

Neptun ima 14 poznatih satelita (slika 108). Pomenućemo neke od njih. Najveći je Triton, koji je otkrio Vilijam Lasel (William Lassell), 17 dana nakon otkrića Neptuna. Njegova putanja je jako nagnuta prema ekvatoru planete, a okreće se retrogradno. Smatra se da je „zahvaćen” kao patuljasta planeta iz Kajperovog pojasa.



Slika 108. Odnosi veličina Zemlje, Meseca, Neptuna i nekih njegovih satelita

Na ovom satelitu izmerena je i temperatura od samo 38 K, najniža u Sunčevom sistemu. Neptunov satelit Nereida ima jednu od najekscentričnijih orbita od svih prirodnih satelita u Sunčevom sistemu. Protej je nepravilnog oblika, a nije dobio sferni oblik usled male sopstvene gravitacije.

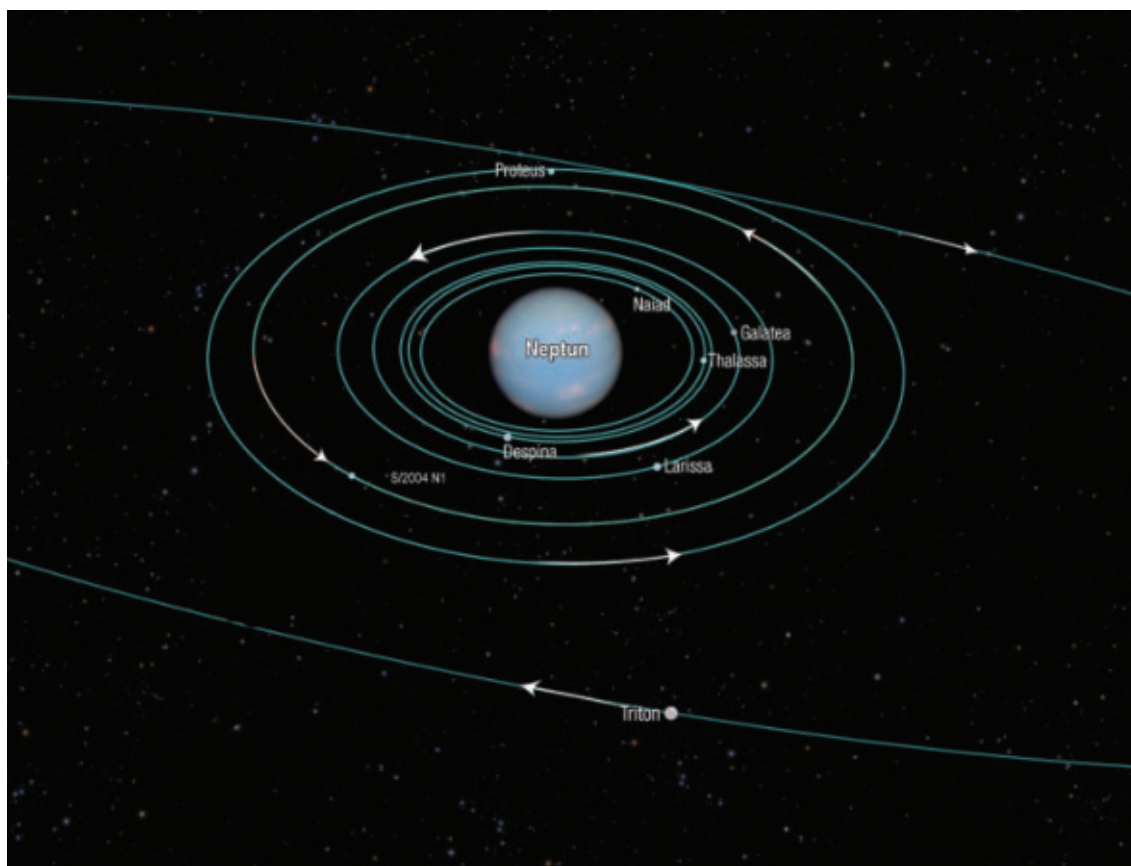
To je drugi po veličini satelit Neptuna, ali mu je masa četiri stotine puta manja od Tritona. Sateliti Najada, Talasa, Despina i Galateja su najbliži Neptunu, i njihove su orbite unutar Neptunovih prstenova (slika 109).

Neptun ima 5 tankih, odvojenih prstenova, koji su potvrđeni 1989. godine prolaskom svemirske letilice „Vojadžer 2” pored ove planete. Neptunovi prstenovi su manji od Saturnovih. Verovatno su izgrađeni od čestica leda obloženih silikatima i ugljenikom, koji im daju crvenu boju.

Tri glavna prstena Neptuna su Adams, širok 63.000 km i otkriven 1968. godine, iza njega je Leverijer (Le Verrier), koji je manji, širine 53.000 km, i Gale (Galle), najmanji, širine 42.000 km. Između pomenutih prstenova su praznine. Posmatranjem sa Zemlje utvrđeno je da su prstenovi Neptuna nestabilni, tj. da se raspadaju, gube, nestaju.

Neptun se ne može videti golim okom, ali se kroz teleskop ili bolji dvogled vidi kao plavi disk, sličan Uranu.

Gravitacija i orbita Neptuna imaju značajan uticaj na Kajperov pojas, koji se nalazi iza njega. Sličan je asteroidnom pojasu od kojeg je mnogo veći.



Slika 109. Orbite unutrašnjih satelita

II.3.3 PATULJASTE PLANETE

U Sunčevom sistemu ima i **patuljastih planeta**, koje ne ispunjavaju uslove da se svrstaju u planete. Međunarodna astronomska unija je 2006. godine ustanovila nove kriterijume za klasifikaciju planeta. Prema važećoj definiciji, planeta je nebesko telo u orbiti oko Sunca čija masa je dovoljna da „očisti” sve druge objekte (manja nebeska tela) koji se nalaze u bliskoj orbiti. Smatra se da imaju stenovito jezgro, dok im je omotač od zamrznute vode, leda.

U grupi patuljastih planeta su: Pluton, Ceres, Eris, Makemake, Haumea i dr. Očekuje se da njihov broj raste jer se smatra da ih ima i u spoljašnjem delu Sunčevog sistema. Prikazaćemo neke od njih.

Pluton (slika 110) otkriven je 1930. godine. Prvobitno je svrstavan u planete, ali je 2006. godine „reklasifikovan” u patuljaste planete. Kada su astronomi razmotrili ideju o povećanju broja planeta u Sunčevom sistemu, predložili su, kao kriterijum, veći od „Plutona”, ali su se geolozi usprotivili krađi „našeg” termina.



Slika 110. Pluton

„Tužni“ Pluton nije više planeta, već „broj 134340”. Debata o statusu Plutona od strane odbora Međunarodne astronomske unije predstavlja zanimljiv primer borbe između politike, sentimentalnosti i nauke. Kao što je rekao Konfučije, „Početak mudrosti je da nazovete stvari svojim pravim imenom”. Atmosfera Plutona izgrađena je od azota (98%), vode (<1%), metana (<1%) i ugljen-monoksida (<1%). Pluton, Haumea i Makemake nalaze se u Kajperovom pojasu. Imaju

ekscentrične i nagnute orbite i njegove spoljne granice su delom van Sunčevog sistema. Smatra se da Pluton ima samo 0,0025 mase Zemlje, Heron je slične veličine, a je nešto veći. **Ceres** je patuljasta planeta u pojasu asteroida (slika 111). Površina mu je verovatno topla i ima tanku atmosferu. Otkrio ga je Italijan Đuzepe Pjaci (Giuseppe Piazzi) 1801. godine tokom rutinskog osmatranja neba. Nemački matematičar Karl Fridrih Gaus (Karl Friedrich Gauss) iste godine je izračunao njegove elemente putanje. Astronomi su očekivali mnogo veće nebesko telo, ali Ceres ima prečnik od „samo” 940 km, što je pola prečnika Plutona ili Erisa.

Eris (slika 112) nalazi se u rasutom disku koji se preklapa sa Kajperovim pojasom, ali se proteže dalje u prostoru i nije ograničen samo na ravan ekliptike. Prema pomenutoj novoj klasifikaciji, postoji i treća kategorija nebeskih objekata, „mala tela”. Ona se nalaze u orbiti oko Sunca, ali nisu dovoljno masivna, velika, da gravitaciono privuku druga tela. Ovde spada većina asteroida, kometa i objekata iz Kajperovog pojasa.



Slika 111. Ceres



Slika 112. Eris

II.3.3.1 „OSTALA” MALA TELA

Sunčevom sistemu takođe pripadaju i „ostala” mala tela:

Prirodni **sateliti** ili meseci – nastali su sudarima malih tela u orbitama oko njihovih matičnih planeta dok su narastale (slika 113). Kompjuterskim modeliranjem je utvrđeno da sateliti nastaju u kratkom vremenskom periodu, za oko milion godina. Ova hipoteza ima nedorečenosti, zbog čega pojedini autori smatraju da su mnogi sateliti zarobljeni gravitacionim poljem svoje matične planete.

Sunčev sistem ima veliki broj satelita, koji su klasifikovani na dve opšte klase:

Redovni sateliti, u koje spada većina većih satelita koji se okreću u ravni ili blizu ravni planetarnog ekvatora i u istom smeru kao i planeta kojoj pripadaju i

Neredovni, nepravilni sateliti, koji imaju visoko nagnute, često retrogradne i ekscentrične orbite. Neke od njih su daleko od matične planete. Mnogi Jupiterovi sateliti spadaju u ovu kategoriju, kao i sateliti Saturna i Neptuna. Većina, ako ne i svi, su „zarobljeni” od planeta oko kojih se okreću.

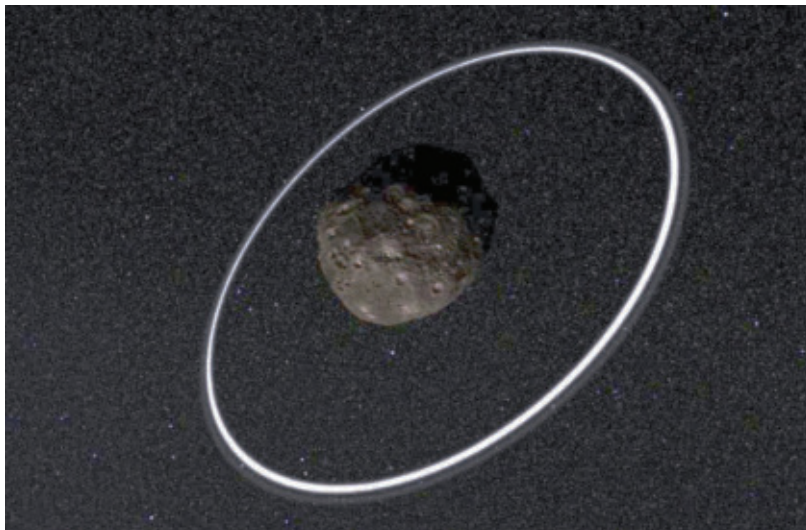
Neki sateliti su **nepravilnog** oblika, jer su erodovani sudarima sa manjim telima. Mnogi Saturnovi i Uranovi sateliti su takvog tipa. Fobos i Deimos i mali Marsovi sateliti mogu biti zarobljeni asteroidi.

Postoje pravilnosti u satelitskim sistemima koje su važne za objašnjenje njihovog nastanka. Na primer, sateliti Jupitera, Saturna i Urana imaju nisku inklinaciju i određenu orbitu, što ukazuje na formiranje iz ekvatorijalnog diska. Veliki sateliti su uglavnom stenoviti ili stenoviti sa ledom. Sateliti od CH_4 i N_2 , se pojavljuju daleko od Sunca i matične planete. To su nebeska tela koja, usled sile gravitacije, kruže oko drugog znatno većeg nebeskog tela, planete. U Sunčevom sistemu do sada su otkrivene stotine prirodnih satelita. Mesec je prirodni satelit Zemlje. Najviše satelita imaju Saturn i Jupiter, dok Merkur i Venera nemaju svoje „pratioce”. Sateliti koje je izgradio čovek su veštački sateliti.

Kentauri su po fizičkim osobinama između kometa i asteroida (slika 114). Nalaze se u regionu velikih planeta. Imaju manje ekscentrične orbite i „ostaju” u pojasu između Jupitera i Neptuna.



Slika 113. Titan, najveći prirodni satelit Saturna



Slika 114. Najveći kentaur 10199 Chariklo, prečnika 250 km, sa novootkrivenim prstenom

Komete su ledena tela koja se okreću oko Sunca, u čijoj blizini delimično isparavaju, stvarajući rep dugačak i preko milion kilometara (slika 115). U narodu se kometa zove „repata” zvezda ili samo „repatica”. Komete daju važne podatke o ranoj istoriji stvaranja Sunčevog sistema jer su „izbegle“ deo temperaturnih i kolizionih događaja. U Solarnom sistemu može biti 10^{12} kometa, od kojih je samo oko 3350 katalogizirano, a otkrivaju se nove. Smatra se da su komete ostaci planetezimala od kojih su izgrađene i gigantske planete Jupiter, Saturn i Uran. Izgrađene su od:



Slika 115. Kometa

1. **jezgra**, prečnika od 5 do 50 km, mešavine komada stena, prašine, leda i drugih zamrznutih gasova: ugljen-dioksida, ugljen-monoksida i metana. Neke komete sadrže i različita organska jedinjenja, uključujući metanol, vodonik-cijanid, formaldehid, etanol i etan, kao i kompleksne ugljovodonike i aminokiseline, zbog čega neki istraživači smatraju da su one „donele” život na Zemlju,

2. **repa** komete, koji čine jonizovani gasovi oslobođeni zagrevanjem tokom njenog kretanja. On je ogromne dužine, veće od 1 AJ, i ima pravac radijalno od Sunca.

Saznanja o sastavu kometa značajno su povećana tokom misije „Đoto” (Giotto) 1986. godine prilikom „bliskog susreta” sa Halejevom kometom. Tada je utvrđeno da je jezgro ove komete nepravilnog oblika, a njena površina prekrivena kraterima, kao i slojem tamne prašine, debljine do 1 m. Koliko se prašine (silikati, oksidi) nalazi unutar ove ili drugih kometa još nije poznato. Istraživanja pokazuju da je gasna komponenta u Halejevoj kometi od vodene pare sa tragovima CO_2 , CO , CH_4 i NH_3 . Pošto su odnosi ovih gasova različiti od onih na Suncu, smatra se da materijal koji gradi Halejevu kometu nije primaran već frakcionisan. Vodonika, u poređenju sa solarnom nebulom, ima veoma malo. Izgleda da su džinovske planete izbacile ledena tela iz unutrašnjeg Sunčevog sistema na više od 50 AJ i na taj način je spoljni deo Solarnog sistema postao popunjen velikim oblacima kometa. Prisustvo CO_2 i sumpora u kometama ukazuje na to da su one nastale u spoljašnjim hladnim delovima Sunčeve nebule.

Komete se dele prema vremenu obilaska oko Sunca na:

- **kratkoperiodične**, čiji obilazak oko Sunca traje manje od 200 godina. Većina ima eliptične orbite i kreću se u istom pravcu kao i planete. Redovno se pojavljuju na „našem” nebu u periodu od 6 do 200 godina i smatra se da dolaze iz Kajperovog pojasa, i

- **dugoperiodične**, čiji obilazak oko Sunca traje od preko 200 do nekoliko desetina hiljada godina, zbog čega se njihovo ponovno pojavljivanje ne može tačno predvideti. Ove komete se nalaze daleko iznad orbita spoljašnjih planeta, iako ostaju gravitaciono vezane za Sunce.

Promene orbita kometa nastaju, smatra se, usled uticaja okolnih zvezda, što otežava dokaze da su one nastale u solarnoj maglini. Kometa najviše ima u Kajperovom pojasu (oblaku), 30–1000 AJ od Sunca i u Ortovom oblaku, 1000–50.000 AJ od Sunca. Mnoge komete su „izvučene” iz svojih orbita gravitacionim interakcijama sa Suncem i ostalim planetama. One mogu napraviti bliske orbite oko Sunca, a neke se mogu i sudariti sa planetama, uključujući i Zemlju.

Smatra se da je u ranoj fazi stvaranja Sunčevog sistema veliki broj kometa bombardovao Zemlju dajući joj prvu vodu i gasove za atmosferu i, kako smo pomenuli, možda i život. Međutim, sudari kometa i meteorita sa Zemljom u nekoliko vremenskih perioda, smatra se, glavni su uzroci katastrofa, kada je došlo do masovnog izumiranja flore i faune, promena klime itd. Pomenimo dobro „poznato” izumiranje dinosaurusu krajem krede, ali i nagli uspon sisara.

Malo je poznato da je 1996. godine telo komete, asteroid, prečnika oko 700 metara „promašio” Zemlju. Otkriven je tek nekoliko dana pre nego što je prošao pored naše planete. Šta bi se dogodilo da je bio bliže Zemlji ili veći?. Da li bi se

mogao „zaustaviti”, razbiti, razoriti? I ako ne, kakve bi bile posledice? Moramo biti spremni, ne samo sa odgovorom, jer koliko „sutra” posetiće nas neki drugi. Podsetimo se da su asteroidi, komete i meteori bili objekti fascinacije, spekulacije i straha za većinu civilizacija na Zemlji.

Verovalo se da najavljuju kugu, rat, smrt, propast kraljeva i država, poraz u ratu. Tako je kometa bila vesnik Cezareve pogibije, kometa koja se pojavila na nebu 1517. godine najavila kraj asteške civilizacije, koja je usledila četiri godine kasnije, a kometa 1811. godine predskazala je poraz Napoleona u ratu sa Rusima. Pomenimo i 1910. godinu, kada je većinu ljudi na Zemlji zahvatila panika jer je naša planeta prolazila kroz rep Halejeve komete, u kojoj je, smatralo se, bilo cijanida i sve je bilo spremno za sudnji dan.



Slika 116. Meteor

Meteoroidi su nebeska tela, odlomci samorodnih elemenata, minerala i stena, veličine od čestica prašine pa do prečnika od nekoliko desetina metara, koji kruže oko Sunca i ne mogu se optički videti. Kada „upadnu” u Zemljinu atmosferu, usled trenja sa atmosferom, burno sagorevaju emitujući svetlost, koju vidimo. Tada ih nazivamo **meteorima** ili zvezdama padalicama (slika 116). One nakratko zasvetle jer njihova prašina sagoreva i isparava (zbog prisustva kiseonika), prolazeći kroz atmosferu, i stvara svetlost, sjaj koji treperi i koji mi vidimo. Brzina meteora varira, od 11 do 72 km/s, zavisno od ugla kretanja u odnosu na Zemlju neposredno pred ulazak u njenu atmosferu. Sve se odvija u gornjem delu atmosfere, na visini od oko 130 km, a sagorevanje na oko 80 km. Zemlja se stalno bombarduje meteoroidima, stotine miliona pada svakoga dana, ali većina je mala pa se ne vidi. Obično se očekuje oko 7 meteora na sat na jasnom, noćnom nebu bez mesečine.

Broj meteora značajno se povećava u određenim periodima godine, na oko jednog po minuti, kada nastaju meteorske kiše. Ovo se dešava kada naša planeta prolazi kroz oblake prašine koje je iz sebe ostavila kometa. Zemlja na putu oko

Sunca svake godine prolazi kroz nekoliko takvih oblaka, posebno u avgustu, novembru, decembru. Godišnje na našu planetu padne oko 20.000 tona meteorskog materijala, najvećim delom kao fina prašina koja se ne vidi golim okom. Ako imate sreće da ugledate zvezdu padalicu, pomislite želju, u nadi da će Vam se ispuniti.

Izuzetno sjajni meteori (nekad sjajniji i od punog Meseca) koji zaparaju nebo (mogu se videti i danju) uz zaglušujuću buku nazivaju se bolidi. Ako je meteor bio dovoljno veliki i nije potpuno sagoreo u atmosferi, on pada na **Zemlju i tada se naziva meteorit** (slika 117). Može da ostavi i trag pada, krater, čiji prečnik zavisi od veličine meteora koji je pao, a kreće se od nekoliko desetina metara pa do nekoliko kilometara. Meteoriti se „uguraju” u orbitu Zemlje nakon što su „izbačeni” sudarima u pojasu asteroida ili gravitacionim perturbacijama tokom složene orbitalne dinamike. Najveći broj meteorita na Zemlji nađen je na Antarktiku. Izmereni parametri putanje meteorita koji ulaze u Zemljinu atmosferu ukazuju na to da većina njih dolazi iz asteroidnog pojasa ili su, manjim delom, fragmenti izbačeni sa površine „našeg” Meseca ili Marsa. Mogu biti i delovi kometa. Važnu ulogu u otkrivanju meteorita imaju i površine planeta. Efekti uticaja zavise od veličine meteorita, ali i od sastava i morfologije. Sa satelitskih snimaka dobijeni su važni podaci o položaju i veličini kratera, na osnovu kojih je izračunata veličina meteorita koji su pali na našu planetu.



Slika 117. Meteorit

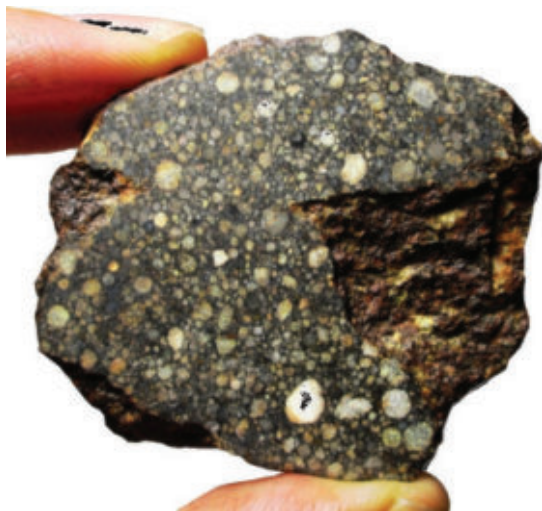
Zemlja prolazi kroz delove Sunčevog sistema koji su bogati meteoritima. Svake godine u periodu od 10. do 13. avgusta može se posmatrati meteorski roj Perseidi, a polovinom novembra Leonidi. Tada je nebo, noću, puno meteora, što nazivamo „meteorski pljusak”. Više detalja o meteoritima biće navedeno u nastavku teksta.

METEORITI I ZEMLJA

Mnogi zaključci o građi Zemlje dobijeni su ispitivanjem meteorita, za koje je utvrđeno da su nastali pre oko 4,5 do 4,6 milijardi godina, u vreme ili kratko nakon „rođenja” Sunca. Pojedini meteoriti su znatno mlađi, oko 1,3 milijardi godina, što ukazuje na više epizoda stvaranja elemenata, minerala u vreme nastajanja Sunčevog sistema.

Hemijski i mineralni sastav meteorita nije se menjao od vremena nastanka do danas. Smatra se da oni predstavljaju rane generacije diferenciranih planetezimala koji su ponovo stapani u vreme stvaranja planeta Sunčevog sistema.

Utvrđivanje vrste meteorita na Zemlji zahteva umeće jer su oni delom izgrađeni od istih minerala kao i „zemaljske” stene. Mnogi meteoriti imaju koru kondenzovanu od stvorene toplote tokom prolaska kroz Zemljinu atmosferu. Većina meteorita koja se koristi za klasifikaciju prikupljena je sa Antarktiki, gde se beleži oko 85 % svih nađenih meteorita koji su pali na Zemlju.



Slika 118. Hondritski meteorit

Meteoriti se klasifikuju prema nastanku, hemijskom, mineralnom i izotopskom sastavu, strukturno-teksturnim svojstvima i poreklu (asteroidni ili planetarni) u tri grupe:

1. **stenovite**, koji su najčešći,
2. **stenovito-gvozdene** ili diferencirane, koji su retki i lako podležu alteraciji i
3. **gvozdene**, koji su najređi.

1. **Stenoviti** meteoriti sadrže silikate i malu količinu gvožđa, nikla, zatim kiseonika, ugljenika, azota i drugih hemijskih elemenata. Prema strukturi se dele na **hondrite**, koji dominiraju, i **ahondrite**.

Hondriti su najrasprostranjeniji meteoriti (slika 118). Sastoje se od malih grudvica, perli, veličine do oko 5 mm, nazvanih hondrule (grč. *chondros* – „zrno”). Izgrađene su od mešavine kristala i stakla i leže, plivaju u matriksu, osnovnoj masi. Smatra se da predstavljaju kapljice koje su se kondenzovale u najranijim fazama formiranja Sunčevog sistema, pre nego što su ugrađene u meteorite. Po sastavu, hondrule su agregati fero-magnezijskih silikata (olivina i piroksena), **Ca-Al** bogatih inkluzija (često se smatraju refraktornim ostatkom), **Fe-Ni** metala, magnetita, hromita (ili hromspinel), gvoždevitih sulfida (troilit, pirhotit i pentlandit), ponekada uz prisustvo sekundarnih minerala, karbonata, sulfata i minerala iz grupe serpentina.

Hondrule su obogaćene litofilnim, a osiromašene siderofilnim i halkofilnim elementima. Ovaj hemizam potvrđuje da su nodule bile stopljene kako bi se frakcionisali elementi pre njihovog nastajanja, ali da nisu direktna kondenzacija Sunčeve nebule. Inkluzije bogate **Ca-Al** sadrže refraktorni materijal veličine od manje od milimetra do centimetra koji se javlja u različitim sadržajima u svim grupama meteorita. Većina eksperimenata ukazuje na to da su hondrule nastale na temperaturama od najmanje 1500 °C i da su se brzo hladile. Neke hondrule sadrže neobične minerale i imaju teksturu poput koncentričnih kožica luka koji se stvara na 1700 °C. Teksture delimičnog stapanja (olivina i piroksena) u nekim hondritima ukazuju na to da su oni bili zagrevani do temperature od oko 1000 °C. Većina hondritskih meteorita ima izotopsku starost od 4,6 milijardi godina, iz vremena

kada se Sunčev sistem počeo stvarati, tj. kada se počela kondenzovati Sunčeva nebula. Na taj način, hondriti predstavljaju najstarije čvrste ostatke Solarnog sistema. Hondrule su, kao što smo pomenuli, nastale brzim hlađenjem tečnih kapljica, ali je njihovo poreklo još uvek delom nepoznato. Utvrđeno je da su nastale na visokoj temperaturi (usled stapanja), a matriks na znatno nižoj. Izgleda da su metalne, sulfidne i silikatne faze morale biti prisutne u nebuli i da su nastale brzim topljenjem i hlađenjem. Šta je izazvalo stapanje? Možda su to bile iznenadne eksplozije energije, koje su stopile lokalne gomile prašine i sitnije komade nebule, koje su se brzo ohladile formirajući hondrule i uz ostatak materijala kasnije narasle u asteroide. Prisustvo stakla u matriksu hondrula ukazuje na to da oni nisu bili u međusobnoj ravnoteži.

Hondriti se smatraju nediferenciranim meteoritima, jer bi toplota i diferencijacija uništila hondrule. Njihova mala veličina ukazuje na brzo hlađenje i „hladnu“ nebulu u trenutku stvaranja. Verovatno su se hondrule formirale nakon kondenzacije, ali pre planetezimala. Zato se hondriti smatraju najprimitivnijim meteoritima, jer imaju sastav najbliži sastavu solarne nebule.

Hondritski meteoriti često su retrogradno promenjeni sa vodom, uz pojavu rekristalizacije ili drugih niskotemperaturnih sekundarnih procesa.

Karbonski hondriti sadrže organsku materiju, kao što su ugljovodonici i aminokiseline, i nisu bili na temperaturama iznad 200 °C, ali su bez tragova života. U matriksu su hidratizani **Mg** silikati (hlorit, serpentinit), koji su oreoli u hondrulama od olivina i piroksena.

Prema hemijskom sastavu i međusobnom odnosu elemenata i minerala, veličini i zastupljenosti, izdvojen je veliki broj grupa karbonskih (ugljenikovih) hondrita, koji ovde neće biti prikazani.

U većini udžbenika je navedeno, prihvaćeno da su unutrašnje terestrične planete formirane od materijala hondritskog sastava. Hondritski model sastava Zemlje ima i nedorečenosti. Naša planeta je gušća i mora imati veći odnos **Fe/Si** od hondrita. Stoga su modeli koji se baziraju na temperaturama kondenzacije, koja je funkcija udaljenosti od Sunca, bolji, reklo bi se, i tačniji za procenu i objašnjenje hemijskog sastava planeta nego meteoriti.

Ahondriti nemaju hondrule jer su one, smatra se, uništene magmatskim procesima i diferencijacijom. Neki vode poreklo od asteroida ili potiču sa Marsa. Strukture i teksture ukazuju na to da su se sporo hladili. Znatno su ređi od hondrita. Ahondriti (slika 119) makroskopski podsećaju na „naše” stene. Njihova struktura, tekstura i hemizam ukazuju na to da su nastali kristalizacijom iz silikat-



Slika 119. Ahondrit (veličina uzorka 5 cm)

ne magme iz obodnih ostataka većih tela u Sunčevom sistemu koji su kasnije diferencirani, neki od njih i brečizirani. Nekoliko faza zagrevanja i stapanja u ranom Solarnom sistemu stvorilo je širok spektar diferenciranih tela, od kojih su nastali ahondriti različitog sastava. Pojedini autori ih tumače kao hondrite koji su nekoliko puta rekristalisali, ali parcijalno stapani. U ahondritima se javljaju minerali poput olivina, ortopiroksena, klinopiroksena, plagioklasa, troilita, **Fe-Ni** metala, hromita, grafita, apatita, pa čak i **K**-feldspata itd. Po sastavu, uglavnom odgovaraju bazičnim i komatitskim stenama, imaju magmatske, ali i metamorfne teksture.

Ahondriti imaju zrnastu strukturu i hemiju i mineralogiju hondrita, ali nije uspostavljena jasna veza sa bilo kojom poznatom grupom hondrita. Neki ahondriti su brečasti, verovatno nastali sudarima asteroida. Često sadrže inkluzije bogate refraktornim elementima (**Ca**, **Al**, **Ti** i **Zr**) i poznati su pod nazivom *CAIs* (akronim od engl. *Ca-i Al-rich inclusions*). Veličine su od ispod 1 mm do nekoliko cm. Izotopski sastav ukazuje na to da su „stranci” u Solarnom sistemu i da su nastali direktnom kondenzacijom iz neke starije nebule. Odakle su došli i kako su „doputovali” u Sunčev sistem još uvek je nepoznanica. Ima mišljenja da vode poreklo iz okolnih supernova.

Meteoriti **SNC-a** (nazvani po meteoritima *Sergotty*, *Nakhla* i *Chassigny*) verovatno dolaze sa Marsa. Imaju komatitski sastav, fino zrnaste, magmatske strukture. Izotopska starost im je 150 miliona i 1,3 milijarde godina i znatno su mlađi od prethodno opisanih. Jedan od dokaza da vode poreklo sa Marsa je prisustvo „zarobljene” atmosfere ove planete. Otvoreno je pitanje kojim mehanizmom su „izbačeni” sa površine Marsa. Jedan meteorit nađen na Antarktiku, prema izotopskim analizama, predstavlja fragment Marsove kore, jedan od najstarijih sačuvanih u Solarnom sistemu.

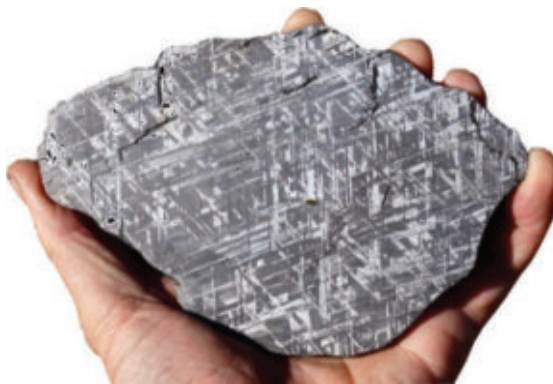
Pomenimo da je u stenovitim meteoritima pronađeno više od 90 minerala, od kojih neki nisu pronađeni na Zemlji.

2. **Stenovito-gvozdeni meteoriti** su izgrađeni od mešavina metalnih i silikatnih (stenovitih) komponenti, a po sastavu su između ahondrita i gvozdениh meteorita. Smatra se da vode poreklo iz asteroidnog pojasa, unutrašnjeg dela većih planetezimala ili embriona planeta prečnika i do 400 km, na granici njihovih jezgara i omotača. Teksture i hemijski sastav ukazuju na to da su formirani frakcioniranjem i procesima stapanja. Prema sastavu, dele se na palasite i mezosiderite. Izotopska starost ukazuje na to da su stvarani u ranoj fazi nastanka Sunčevog sistema.

3. **Gvozdeni meteoriti** su veoma retki, ali dominiraju u muzejskim zbirkama. Izgrađeni su od gvožđa (90%), sa primesama nikla, kobalta i drugih metala i gotovo nemaju silikate (slika 120). Ovi meteoriti sadrže delove siderofila (**Fe-Ni** legure) i halkofilne faze (segregacije troilita: **FeS**). Što je hlađenje bilo sporije, rasli su veći kristali, na osnovu čega se može izračunati brzina hlađenja i veličina planetezimala od kojih su nastali. **Fe-Ni** legure čine kamacit i taenit, koji se



Slika 120. Gvozdeni meteorit



Slika 121. Vidmanštetenova tekstura

izdvajaju iz jedne homogene faze dok se hladi stvarajući prepoznatljivu Vidmanštetenovu teksturu (slika 121), koja se lakše uočava na poliranim površinama ovih meteorita. Smatra se da predstavljaju diferencirana jezgra velikih planetezimala ili protoplaneta prečnika nekoliko stotina kilometara koji su formirani u ranom Sunčevom sistemu u pojasu asteroida. Ubrzo nakon ili tokom narastanja, pomenuta nebeska tela bila su stopljena i diferencirana, stvarajući jezgro, omotač i koru. Međusobnim sudarima, pojedine planetezimale su se kidale, slamale i usitnjavale, a njihovi ostaci su raspršeni u orbiti u kojoj su stvarani. Većina gvozdenih meteorita pokazuje jake frakcione trendove, kao i raspodelu pojedinih mikroelemenata (**Ga, Ge, Ir**) u odnosu na **Ni**, što ukazuje na to da oni predstavljaju jezgro materijala iz različitih, visoko diferenciranih matičnih izvora i predstavljaju vredne uzorke jezgra planetarnih tela, delova planetezimala. Odnosi sadržaja **Sm/Nd, Rb/Sr, Hf/W i Re/Os**, kao i izotopska starost ukazuju na to da vreme narastanja i parcijalnog stapanja predstavljaju najraniju evoluciju asteroida, koja se dogodila između 4,56 i 4,53 Ga, što je trenutno najbolja procena starosti Sunčevog sistema. Gvozdeni meteoriti su dalje podeljeni na osnovu teksture i hemijskog sastava i neće biti dalje razmatrani. I na kraju opisa vrsta meteorita pomenimo da neki od njih sadrže kiseonik, azot, vodonik, ugljenik i vodu, zbog čega pojedini istraživači smatraju da su oni „doneli” i život na Zemlju.

Evo i nekoliko zanimljivosti o meteoritima.

Najveći meteorit zabeležen u modernoj istoriji pao je u istočnom Sibiru (Rusija) 12. februara 1947. godine „usred bela dana” u 10 sati i 38 minuta po lokalnom vremenu. Poznat je pod nazivom Sihote – Alinski meteorit. Vatrena lopta se kretala brzinom od 14,5 km/s i raspala na visini od oko 6 km. Zemlja je u tom delu bila „posuta” sa 20.000 kg meteoritskog materijala. U veoma retke meteorite spada i meteorit Ebi (Abee, Alberta, Kanada), koji sadrži malo kiseonika. Pretpostavlja se da je nastao pre 4,49 milijardi godina u delu solarne magline blizu planete Merkur. Najveći do sada otkriveni meteorit nađen na našoj planeti je Hobo nađen u Namibiji (slika 122), koji se nalazi nedaleko od mesta Grutfontejna (Grootfontein). Meteorit je dobio naziv po farmi Hobo, na kojoj leži, zariven oko jedan metar u zemlju.



Slika 122. Meteorit Hobo u Namibiji

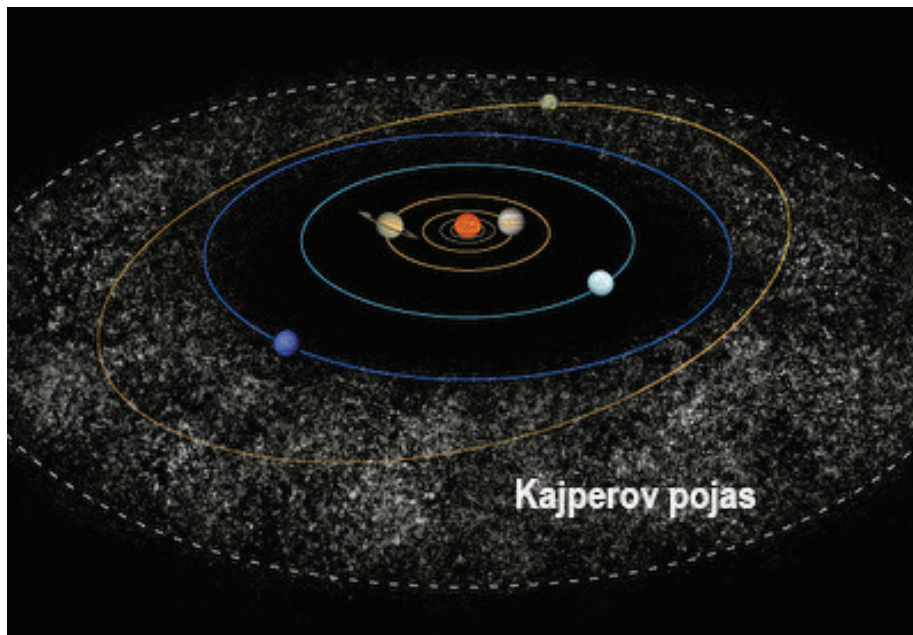
Otkriven je 1920. godine, težak oko 60 tona, veličine 295 x 284 cm i ima oblik nepravilnog četvorougla. Imao sam sreću da ga „uživo” vidim i snimim kratki film.

Najveći meteorit koji je „pomeren sa mesta” nalazi se u Američkom prirodnjačkom muzeju u Njujorku. Težak je više od 34 tone. Admiral Robert Piri (Robert Peary) 1897. godine doneo ga je sa Grenlanda.

Veliki meteoriti udarom u našu planetu stvaraju ogromne kratere. Postoje dokazi da je sudar sa svemirskim objektom, verovatno meteoritom, prečnika oko 700 m koji se dogodio krajem krede, pre oko 65 miliona godina, prouzrokovao nestanak dinosaurusu i velikog dela živog sveta na našoj planeti. Sunčevom sistemu pripadaju i prostori, pojasevi: Kajperov pojas i Ortov oblak.

Kajperov pojas ima oblik diska i nalazi se iza planete Neptun (slika 123). U njemu se nalazi veliki broj malih nebeskih tela prečnika od 50 do 3000 km. Orbite tela su pod stalnim „nadzorom” Jupitera Saturna, Urana i Neptuna. U Kajperovom pojasu su i 4 patuljaste planete, među njima i Pluton i Eris. Udaljen je oko 30 do 50 AJ od Sunca. Kajperov pojas je sličan asteroidnom pojasu, ali nebeska tela imaju veći sadržaj leda. Njegova ukupna masa je oko jedne desetine naše planete i verovatno je ostatak diska mladog Solarnog sistema koji gravitaciono drže džinovske, gasovite planete: Jupiter, Saturn i Uran. Nazvan je po holandsko-američkom astronomu Džerardu Kajperi (Gerard Kuiper, 1905–1973), koji ga je pronašao.

Ortov oblak je iza Kajperovog pojasa. To je rasejani disk, u kome je i jedna patuljasta planeta. On se nastavlja na Kajperov pojas i proteže do nekoliko hiljada



Slika 123. Kajperov pojas

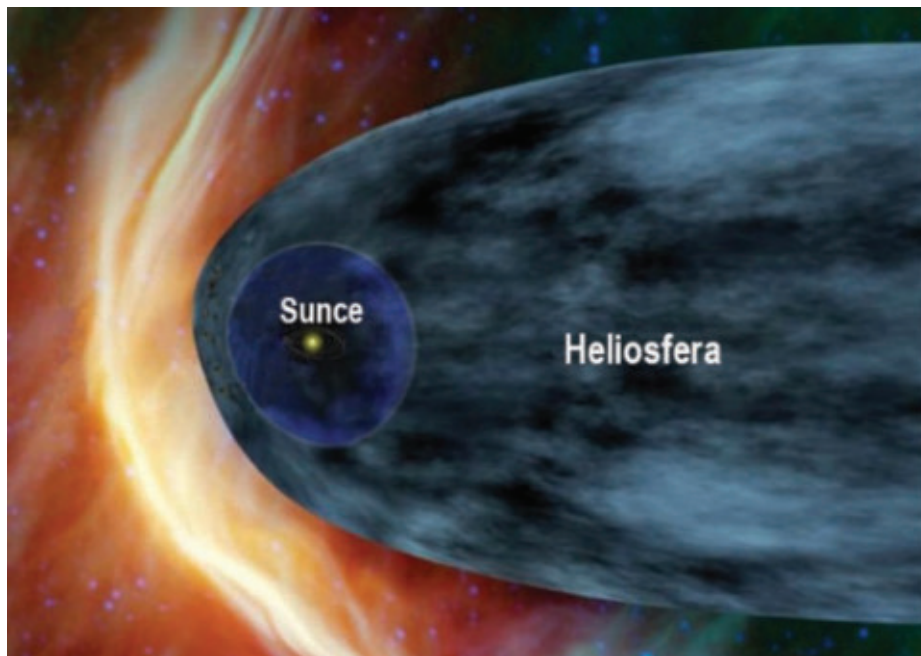
astronomskih jedinica. Od Sunca je daleko oko 2 svetlosne godine. Veruje se da je izvor kometa. On je toliko daleko da je uticaj sile gravitacije Sunca manji od uticaja okolnih zvezda. Ortov oblak je veoma daleko i ne može se direktno osmatrati. Njegovo postojanje utvrdio je holandski astronom Jan Ort (Jan Oort).

Asteroidi van Sunčevog sistema su iz Kajperovog pojasa i Ortovog oblaka. Smatraju se ostatkom prvobitnog protoplanetnog diska, koji je Sunčev sistem formirao pre 4,6 do 4,5 milijardi godina. Mnogi objekti u Ortovom oblaku možda su u početku bili bliži Suncu, ali su se pomerali napolje zbog gravitacionih perturbacija od strane spoljnih planeta.

Heliosfera, je područje gde je pritisak Sunčevog vetra jači od pritiska čestica međuzvezdanog prostora (slika 124). Završava se u rasejanom disku. Heliosfera nastaje delovanjem Sunčevog vetra i štiti od štetnog svemirskog zračenja.

Završimo priču o nastanku Sunčevog sistema pitanjem većine ljudi na Zemlji: zašto se sve planete okreću oko Sunca, zašto se meseci okreću oko planeta ili zašto Sunce ne „ode” i ostavi planete i nas same? Odgovor ste, bar delom, dobili iz teksta koji ste pročitali.

„Njeno veličanstvo” **sila gravitacije** drži nas sve zajedno. Čovek ne oseća silu gravitacije Sunca jer ono privlači i Zemlju. Dovoljno je jaka da našu planetu zadrži u svojoj „blizini” i ne dozvoli joj da odluta u Svemir. Da možemo stajati na površini Sunca, zbog njegove ogromne mase i velike sile gravitacije, bili bismo 28 puta teži nego na Zemlji. Slično je i sa mesecima koji orbitiraju oko planeta. Usled sile gravitacije, ceo Sunčev sistem kruži oko centra naše galaksije, Mlečnog puta. Podsetimo se da je Isak Njutn (slika 125) prvi čovek na našoj planeti koji je objasnio da nas sila gravitacije vuče „nadole”, da „drži” planete da se okreću oko



Slika 124. Heliosfera



Slika 125. Isak Njutn (1643–1727)

Sunca ili da se Sunčev sistem okreće oko centra naše galaksije Mlečnog puta itd.

U „našem” Mlečnom putu, a i van njega, pažljivo se osmatra i prati veliki broj zvezda, planeta i ostalih nebeskih tela koja se stvaraju, postoje, nestaju i ponovo rađaju. Posebno pratimo život, postojanje i sudbinu Sunčevog sistema kome pripadamo.

Hipoteza o solarnoj nebuli za sada nema sve odgovore na pitanja kako su stvoreni univerzum, galaksije, zvezde, naše Sunce. Imamo što imamo, ali svakim danom saznajemo novo, dopunjavamo, menjamo, a nešto stavljamo u arhivu. To je smisao postojanja svakog čoveka na

našoj planeti. Radosti saznanja su, slažete se, veće kada ih međusobno razmenimo, damo ili dobijemo od drugih. U našoj galaksiji kao i u celom univerzumu uvek se nešto događa, rađa, umire i ponovo rađa. Život je beskonačan i bezvremenski. Menjaju se samo oblik postojanja i radost saznanja.

