



PLANETE I DRUGA TIJELA SUNČEVA SUSTAVA

UVOD



Tijela Sunčeva sustava dijele se na **planete, planetske satelite, asteroide (planetoide, male planete), komete i sitan materijal rasut u međuplanetarnom prostoru.**


Jedan od glavnih ciljeva istraživanja Sunčeva sustava je pronaći odgovor na pitanje ***zašto je masa u sustavu raspodjeljena (frakcionirana) na način na koji jest.*** Oko 97% mase, koja je nakon T-Tauri događaja preostala u sustavu, sadržana je u Suncu, ostavljajući samo tek 3% za sva preostala planetarna tijela. Tih je 3% okupljeno u 9 planeta, i to uglavnom u 4 glavna planeta - Jupiteru, Saturnu, Uranu, i Neptunu. Zemljini (Terestrički) planeti - Merkur, Venera, Zemlja i Mars - obuhvaćaju svega 0,5% mase glavnih planeta. Razmotrimo li to na drugi način, možemo zaključiti da na Terestričke planete otpada svega oko 0,1% materije Sunčeva sustava. Sva do sada poznata 54 mjeseca imaju masu manju od 1/3.000 mase planeta. A asteroidi, komete, i interplanetarna prašina su, kemijski govoreći, "primjese", i gotovo zanemarivi dio planetarne materije. Takva raspodjela mase u Sunčevu sustavu posljedica je frakcioniranja u stijensku, plinovitu i ledenu materiju u ranoj fazi evolucije sunčeve nebule.


Pravilnosti u planetarnim međuudaljenostima u skladu su s tzv. Bodeovim ili Titius - Bodeovim zakonom (odjeljak 5-1). Ustvari to i nije zakon *sensu stricto*, već empirijski izraz udaljenosti izražen u nizu brojeva : 0, 3, 6, 12,gdje je svaki sljedeći broj jednak dvostrukoj vrijednosti prethodnog. Svakom pojedinačnom broju dodaje se 4 i dijeli s 10. Dobiveni broj, izražen u AU, zapanjujuće se slaže sa stvarnom udaljenošću planeta od Sunca. Izuzetak je Pluton, gdje je izračunata vrijednost dvostruka vrijednost opažene udaljenosti. To je još jedan dokaz, ako ništa drugo, ono za posebnost Plutona u planetarnom nizu. Druga, još čak i interesantnija pojava, koja proizlazi iz Titius - Bodeovog zakona, je pretpostavljeni planet između Marsa i Jupitera na 2.8 AU. Danas se zna da se na toj udaljenosti nalazi pojas **asteroida**, koji se stoji od malih objekata do nekoliko stotina kilometara u promjeru. Ukupna masa svih asteroida u tom pojasu iznosi 5×10^{24} g što je 0,1% mase Zemlje. Treba napomenuti da i u samom nazivu ovih planetarnih tijela postoje nesuglasice. Neki autori (a među njima i V. Vujnović u već spomenutoj Astronomiji i i II), ova tijela nazivaju **planetoidi, poput planeta**. Iako im zbog sličnosti s planetima (samostalno gibanje, staze slične planetskim, i sl.) ovo ime više odgovara nego **asteroidi (poput zvijezda, zvijezdama slični)**, ime koje im je još početkom 19.st. dao HERSCHEL, zbog njihove pojave, ali i zbog (krivo)pretpostavljenog srodstva s kometima, bolje je služiti se imenom asteroidi, i to uglavnom zbog toga što je ono češće u uporabi u kozmološkoj literaturi.



OSNOVNE KARAKTERISTIKE I GRAĐA PLANETA

Cjelina informacija upućuju na zaključak da nastanak planeta nije statistički, slučajan događaj, već da je to logička sukcesija događaja koji su doveli do današnjeg sastava, građe i veličine svakog pojedinog planetarnog tijela. Kritički faktori su :

- 
- a) *položaj planeta u odnosu na Sunce u vrijeme agregacije i za vrijeme T Tauri događaja;*
 - b) *udaljenost od sljedećeg planetarnog susjeda s kojim se natječe za planetezimale;*
 - c) *donos planetezimala i uspješnost zadržavanja planetezimala (brzina rasta);*
 - d) *energija oslobođena gravitacijskim urušavanjem za vrijeme zgušnjavanja u današnju veličinu planeta; i*
 - e) *diferencijacija materije do današnjih dana.*



Planeti se mogu grupirati u *Terestričke* i *Glavne* (*velike, Jupiteru slične, Jovijanske*, osim Plutona), odnosno na *unutrašnje i vanjske planete*. Prvi su manji, imaju krutu površinu i osim Merkura posjeduju razmjerno rijetku atmosferu, koja ne potječe iz vremena postanka planeta. Drugi su vrlo veliki, divovski, vidljiv im je oblačni pokrov na niskoj temperaturi, a atmosfere su duboke i malo izmijenjene od vremena formiranja. Po kemijskom sastavu Jupiter je sličniji Suncu negoli Zemlji. Među satelitima divovskih planeta ima takvih koji pokazuju sličnosti s Terestričkim planetima, dok su neki manji sateliti nalik asteroidima.



Prema stanju materije, planeti se dalje mogu grupirati u:

a) stijenske,

b) zračeće, i

c) ledene planete.

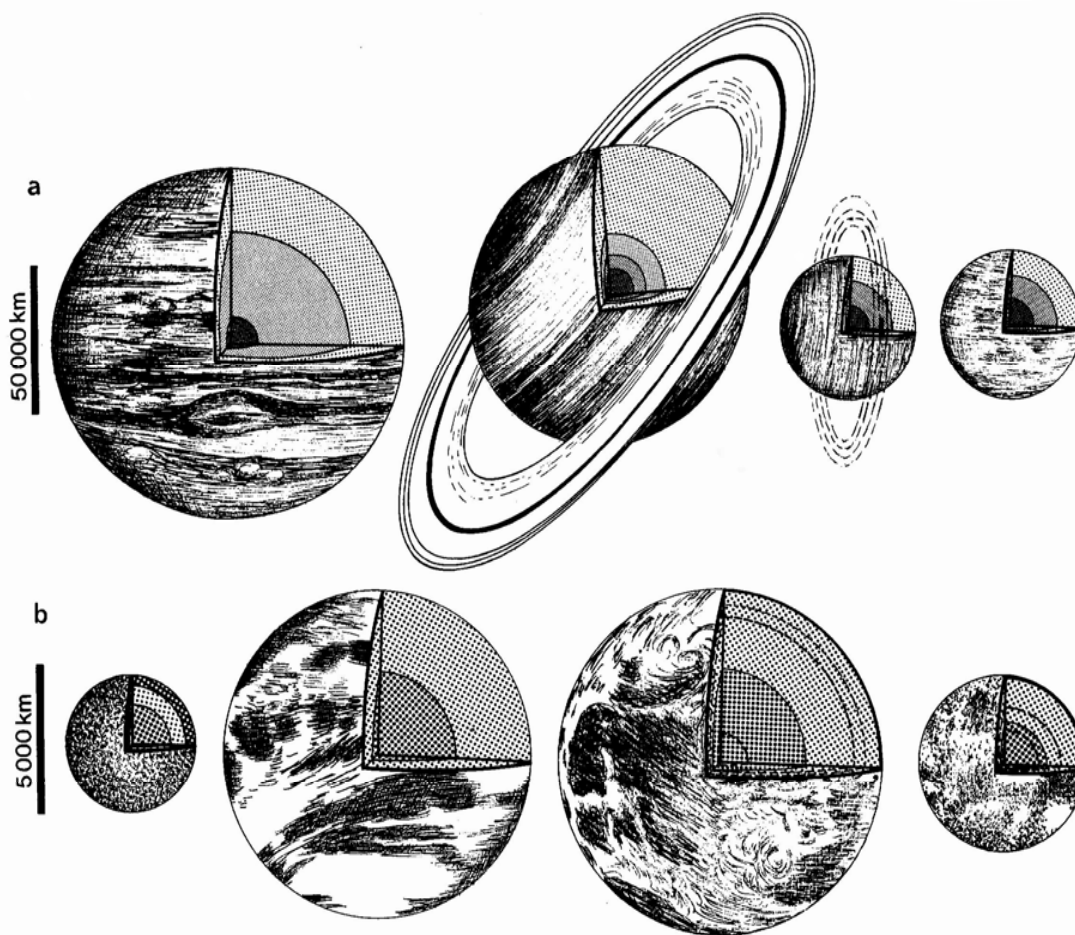
Pojmovi **stijenski i ledeni** su sami po sebi jasni, ali pojam **zračeći** zahtijeva dodatno objašnjenje. Jupiter i Saturn emitiraju u formi infracrvenog zračenja količinu energije koja je 1,5 (za Jupiter) i 2 (za Saturn) puta viša od energije apsorbirane od Sunca. Iako je jakost toplinskog toka iz unutrašnjosti tih planeta značajna, njihove veličine nisu dostatne da bi generirale termonuklearnu reakciju.

Razlike u masama između Terestričkih i Jovijanskih planeta proizlazi prvenstveno iz omjera miješanja između vodika + helija prema preostalim elementima. Dva terestrička planeta, Venera i Zemlja, imaju svaki istu količinu elemenata koji tvore stijene kao i Jupiter, Saturn, Uran ili Neptun, pojedinačno. Temperaturne razlike (od lijeva na desno u tablici) mogu se upotrebiti za razlikovanje **vrućih** (**Merkur, Venera**), **umjereno zagrijanih** (**Zemlja, Mars**), **hladnih** (ali zračećih, **Jupiter, Saturn**), i **ledenih** (**Uran, Neptun, Pluton**) planeta. Na Zemlji i Marsu temperatura površine može porasti i do 60, odnosno 40 °C. Ipak, te se temperature nalaze unutar temperaturnih polja stabilnosti tekuće vode, pa se ova dva planeta nazivaju i vodeni planeti.

Broj mjeseca najveći je za Jupiter i Saturn i opada na jedan mjesec u slučaju Plutona i Zemlje.

Unutrašnja građa planeta (pojednostavljen model)

Na slici 5-2. gornji red od lijeva na desno odnosi se na modele građe Jupitera, Saturna, Urana i Neptuna, dok su u donjem redu modeli, od lijeva na desno, Merkura, Venere, Zemlje i Marsa. Za svaki red lijevo je data grafička skala.



Jupiter se sastoji od tri lupinasta sloja : a) *željezovito - silikatne jezgre* (polumjer 12.000 km), b) *lupine tekućeg metalnog vodika* (33.000 km), i c) *lupine tekućeg molekularnog vodika*.

Saturn je strukturno sličan Jupiteru, iako je njegova srednja gustoća za oko pola manja od srednje gustoće Jupitera (0,704 prema 1,314 g/cm³). Između a) *stijenske jezgre* (polumjer 10.000 km) i c) *metalnog vodikog sloja* (8.000 km) leži b) 5.000 km debela *lupina* sastavljena od različitih vrsta smrznutih tvari (primjerice, led), i d) vanjska *lupina molekularnog vodika* (37.000 km).

Uran i Neptun su otprilike istih veličina, a i slične građe koja se može predstaviti sa tri različite lupine : a) *stijenska jezgra*, b) *ledeni sloj*, i c) *lupina molekularnog vodika*, svaka oko 8.000 km u promjeru. Jezgra Urana je najvjerojatnije tekuća.

Pluton (nije prikazan na slici) ima gustoću 2 g/cm³ i masu, vjerojatno, oko 1/10 mase Zemlje. Njegova je točna građa nepoznata.

Merkur se sastoji od a) debljinom izražene *rastaljene željezovite jezgre*, b) *plastičnog plašta*, i c) *čvrste kore*. Njegova je gustoća približna Zemljinoj koja je inače veća (5,4 prema 5,5 g/cm³), što ukazuje na teškoće kondenzacije primordijalnih volatilnih sastojaka ako su jako blizu Sunca, kao što je to Merkur. Važan podatak o građi Merkura daje jakost magnetnog polja koje iznosi 0,7% jakosti magnetskog polja Zemlje. Uzrok magnetnog polja nalazi se u planetskoj unutrašnjosti. U središtu Merkur mora imati mnogo teških elemenata kao što je željezo. Zbog velike prosječne gustoće metalna jezgra zauzima tri četvrtine debljine.

Znanja o građi Venere su oskudna, ali njezina gustoća i pozicija u Sunčevu sustavu govori da joj je, najvjerojatnije, unutrašnja građa slična Zemljinoj (planetu blizancu). Ipak, uočeno je da bazalti Venerine površine sadrže desetak puta više sumpora nego Zemaljski bazalti, što je posljedica kemijskog djelovanja atmosfere bogate sumporom.

Zemlja i Mars se sastoje od : a) *jezgre*, b) *plašta*, i c) *kore*.

PLANETNE ATMOSFERE

Masa, kemijski sastav, vertikalna struktura i generalna globalna cirkulacija određuju atmosfere planeta i nekoliko mjeseca u Sunčevu sustavu. I dok je građa nekih planeta poznata samo djelomično ili slabo, karakteristike današnjih planetskih atmosfera poznate su sa zadovoljavajućom točnošću. Ipak ako promatramo atmosfere planeta, onda se one bitno razlikuju kod unutrašnjih, Terestričkih planeta i vanjskih, Glavnih planeta.

Atmosfere Jovijanskih (Glavnih, unutrašnjih) planeta

Kemijski, atmosfere Glavnih planeta: Jupitera, Saturna, Urana i Neptuna, djeluju na prvi pogled vrlo slično. Najizraženiji sastojci su vodik i helij, kojih je sadržaj, osim za helijem osiromašenog Saturna, u suglasju s kozmičkom zastupljenošću ova dva elementa. Za očekivati bi bilo da je voda sljedeći sastojak po zastupljenosti u cijelom Sunčevu sustavu. Međutim, sadržaj vode na Jupiteru je nizak zbog stvaranja oblaka, a za preostala tri glavna planeta gotovo neodrediva, i to zbog vrlo niskog tlaka vodene pare u temperaturnom režimu koji vlada na tim planetama. Stvaranje oblaka i fotokemijske reakcije uzrokom su i modificiranog sadržaja NH_3 u atmosferi Jupitera i Saturna. Treba spomenuti i da NH_3 u atmosferi Urana nije uopće opažen, što se očituje u gotovo 100 puta nižoj vrijednosti tog spoja na Uranu ali i pojavi NH_4SH oblaka koji su mogli gotovo u cijelosti konzumirati NH_3 eventualno prisutan u atmosferi Urana. Sadržaj metana na Jupiteru i Saturnu u rasponu je vrijednosti kozmičke zastupljenosti tog spoja, a nešto povišen na Uranu i Neptunu. Metan je jedan od rijetkih sastojaka koji je utvrđen i u atmosferi Plutona.

Glavni su planeti zadržali najveći dio svojih atmosferskih plinova u koncentraciji koja je bliza kozmičkoj zastupljenosti, a poneka manja odstupanja sastava posljedice su razlika u tlaku i temperaturi koji su postojali na dotičnom planetu. Stoga se općenito može reći da su masa, kemijski sastav i dinamika današnje atmosfere Jovijanskih planeta određene njihovom veličinom, relativnom pozicijom u odnosu na Sunce, i raspoloživom unutrašnjom toplinskom energijom. Nasuprot tome, unutrašnji su planeti tijekom T-Tauri događaja izgubili najveći dio svojih primordijalnih plinova i izgradili gotovo potpuno novu atmosferu u evolutivnom razvoju od samih početaka nastanka planeta.

Atmosfere Terestričkih (unutrašnjih) planeta

Zrak na Veneri, Zemlji i Marsu je kompleksnog postanka i ne može se jednostavno shvatiti samo kao produkt isplinjavanja kore ili plašta. Prije nekih milijardu godina sva su ova tri planeta morala imati približno jednake količine vode, ali je voda zadržana jedino na Zemlji, u oceanima. Na Veneri je voda, praktički, u cijelosti nestala, dok je na Marsu djelomično i zadržana i duboko smrznuta. Interesantan je problem plemenitih plinova u atmosferi terestričkih planeta. Plemeniti plinovi - u sastavu atmosfere Zemlje sudjeluju s oko 1 % - u pravom su smislu kemijski inertni, bez obzira na ciklus elemenata u Posebno je interesantna povijest i današnji status plemenitih plinova u atmosustavu. Njihova prisutnost u atmosferi Venere, Zemlje i Marsa može se upotrijebiti na isti način kao i fosile u sedimentnim stijenama, kao pokazatelji evolucije ekosustava ili okoliša taloženja. E.T. DEGENS naziva plemenite plinove *plinoviti fosili* u želji da istakne njihov značaj u praćenju povijesti atmosfere i litosfere.

I Venera i Mars bitno su osiromašene na argonu-40 u odnosu na Zemlju (4 puta manje na Veneri, odnosno 16 puta manje u atmosferi Marsa). Smatra se da je između 25 i 75 % današnjeg sadržaja ^{40}Ar generiranog u radioaktivnom raspadu ^{40}K kroz životni vijek Zemlje, prisutno u atmosferi . Na taj način, moglo bi se općenito zaključiti da je gotovo ukupni sadržaj nastalog ^{40}Ar iz Zemljine kore i gornjeg dijela plašta prešao u atmosferu, dok je preostali dio - oko 50%, više ili manje - još uvijek zadržan u dubljim dijelovima plašta. Pretpostavlja se da Zemlja danas oslobađa tek oko 7 % od srednjeg sadržaja ^{40}Ar u cjelokupnoj evoluciji argona.

Kako su Venera i Zemlja približno istih dimenzija, može se *a priori* zaključiti da je isplinjavanje istih plinovitih vrsta započelo u isto vrijeme, u istim količinama. Faktor osiromašenja apsolutne zastupljenosti ^{40}Ar u atmosferi Venere u odnosu na atmosferu Zemlje ima stoga samo jedno logičko objašnjenje : *Venera je prestala oslobađati ^{40}Ar u određenom trenutku svoje evolucije i to kada je došlo do globalnog prestanka djelovanja tektonike*. Pretpostavlja se da Zemlja i Venera imaju sličnu povijest isplinjavanja za prvih milijardu godina, nakon čega samo Zemlja nastavlja biti, iako smanjenog intenziteta, tektonski aktivna, sve do današnjih dana.

Faktor osiromašenja ^{40}Ar za Mars od 16 u odnosu na Zemlju, posljedica je prije svega manje mase Marsa, a time i manje količine raspoloživog izvornog ^{40}K . Nadalje, to osiromašenje može biti i posljedica kraćeg perioda globalnog isplinjavanja na Marsu, za koje se smatra da nije trajalo duže od 1,5 milijardi godina (i to prvih 1,5 milijardi godina).

U **atmosferi Venere** prevladava ugljični dioksid (96%), a dušika ima 3,5%. Među primjesama su najobilniji sumporov dioksid, vodena para, ugljikov monoksid, plemeniti plinovi, te klorovodik i fluorovodik.

Pretežit sastojak **atmosfere Marsa** je ugljikov dioksid (95%). Slijede dušik (2,7%), argon (1,6%), ugljikov monoksid, kisik, vodena para i ostali inertni plinovi. Vodene pare ima manje od 0,05%, a eventualno nataloženi sloj vode bio bi plići od 0,01 mm. U polarnim krajevima nađen je ozon.

Dušik je i glavni plin u **atmosferi Zemlje**, i to s oko 78 % od ukupnog sadržaja plinova.

Može se zaključiti da se biogeokemijski ciklus ugljika i dušika može provoditi jedino uz prisutnost oceana, morskog života, i globalnog djelovanja tektonike. Nasuprot tome, na Veneri se je taj ciklus mogao održavati tek dok je postojala tekuća voda i bila aktivna tektonika. S nestankom tekuće i vezane vode, tektonska je aktivnost oslabila, i eventualno potpuno prestala. To je dovelo do akumulacije ugljičnog dioksida i vode u atmosferi Venere, a time i napredovanje "efekta staklenika". Najveći dio vode na Veneri, u količini koja je u ranoj povijesti Zemlje i Venere morala biti slična, nestao je najvećim dijelom kroz fotokemijske reakcije dajući vodik i kisik kao produkte reakcije. Taj scenario nužno objašnjava da je voda nestala relativno rano, u vrijeme dok je tektonika bila još uvijek aktivna, inače, Venerina kora ne bi mogla biti pohranilište za molekularni kisik.

Za Mars se pretpostavlja potpuno drugačiji razvoj. To je uglavnom posljedica njegove male mase u odnosu na Zemlju i Veneru, ali i pomankanje magnetnog polja, zbog čega je omogućeno da solarni vjetar prodre vrlo duboko. Danas je najveći dio CO₂ i vode na Marsu smrznut blizu površine, ili vezan u nekim drugim oblicima u kori. Najvjerojatnije, Mars je u svojoj evoluciji poznao i razdoblja s mnogo gušćom atmosferom i obilnom vodom. Crveni planet, kako se Mars naziva, sadrži molekularni kisik u zraku, ali je, čak i veći dio kisika, vezan u crvenkastim tlima, sedimentima i stijenama, što ukazuje da je u dalekoj prošlosti u atmosferi Marsa bilo mnogo više molekularnog kisika.

Planetni sateliti

U Sunčevu se sustavu nalazi i najmanje 61 satelit koji kruže oko planeta. Merkur i Venera nemaju satelite, a Zemlja ima svoj poznati Mjesec. Masa Mjeseca je 1,23% mase Zemlje, čime je Mjesec, nakon Charona, satelita Plutona, drugi najveći satelit u odnosu na veličinu matičnog planeta. Geneza Mjeseca nije do danas razjašnjena, i temeljna pitanja koja znanstvenici postavljaju već više od 100 godina su: *da li je naš Mjesec suprug Zemlje, uhvaćen odnekud iz prostora Svemira; dijete Zemlje, stvoren direktno od proto- Zemlje; ili Zemljin brat, nastao iz istog binarnog sustava?*

Nakon Apolo ekspedicije, sve su tri temeljne hipoteze modificirane da bi se uklopile u nove spoznaje, ali opća suglasnost o njegovom nastanku nije postignut. Najstarije stijene na Mjesecu stare su 4,5 Ggod, što je više od najstarijih utvrđenih stijena na Zemlji za nekih 700 Mgod (Mgod = mega godina = milijun godina = 10^6 godina). Danas znamo da se Mjesec sastoji od: a) male (200 - 300 km u polumjeru) *željezo - nikalne jezgre*, b) 1.400 km debelog *periditnog plašta* i c) 60 km debele *kore anortozitskog i bazaltnog sastava*. Gustoća Mjeseca je $3,3 \text{ g/cm}^3$, dakle, značajno manja od gustoće Zemlje ($5,52 \text{ g/cm}^3$), što ukazuje da Mjesec ima toliko usporedno manje količine željeza i nikla.

Mars ima dva mala satelita, Fobos ("Strah") i Deimos ("Teror"), u rimskoj mitologiji, djeca Marsa, boga rata. Jupiter ima najmanje 16, Saturn 18, Uran 15, Neptun 8, a Pluton jedan satelit.