



Астрономско друштво “Алфа”  
Департман за физику ПМФ-а

“Астрономија селу у походе”



# О Сунчевом систему или ко су комшије у нашем космичком сокаку?

Проф. др Драган Гајић

Природно-математички факултет, Ниш

Предавање је подржано од стране  
Центра за промоцију науке Београд



ЦЕНТАР  
ЗА  
ПРОМОЦИЈУ  
НАУКЕ

*Dr Dragan Gajić*



*O Sunčevom sistemu*

*ili*

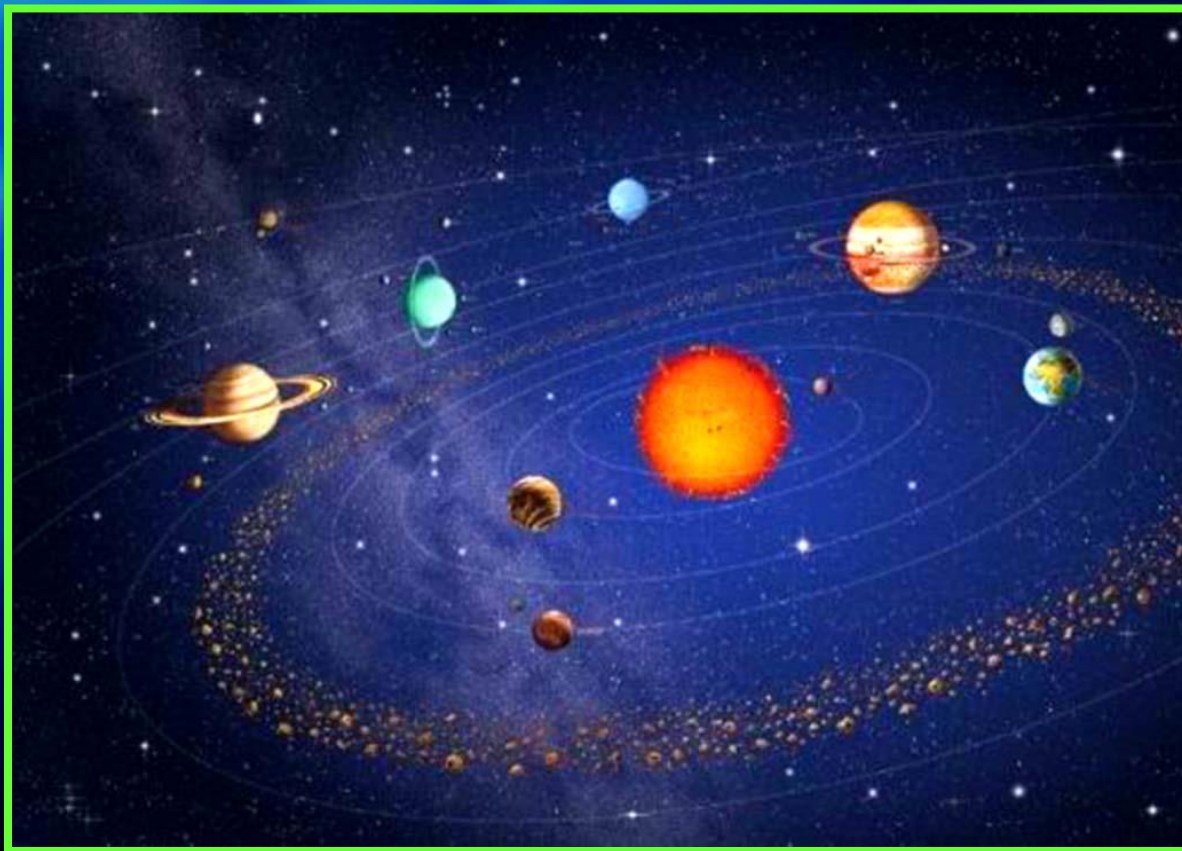
*ko su komšije u našem*

*kosmičkom sokuaku?*

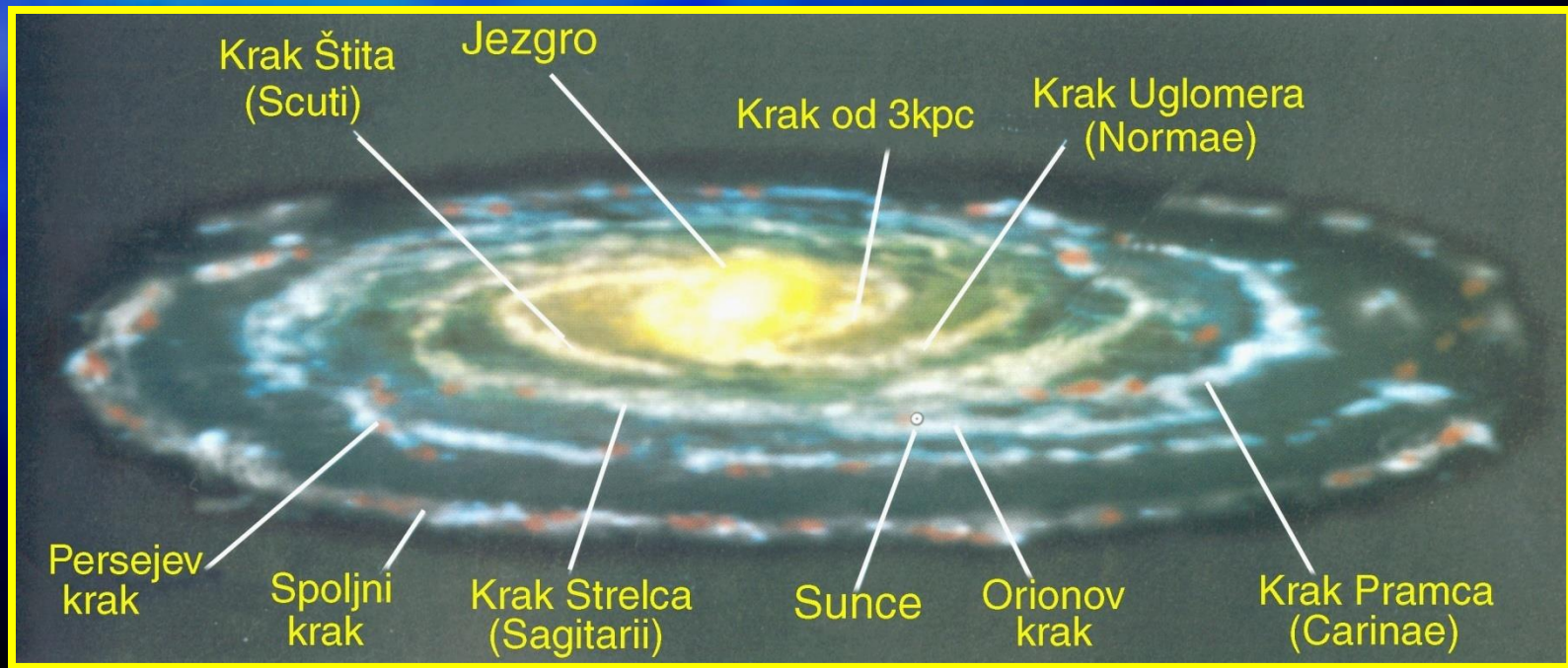


*Koji je to "naš kosmički sokak"?*

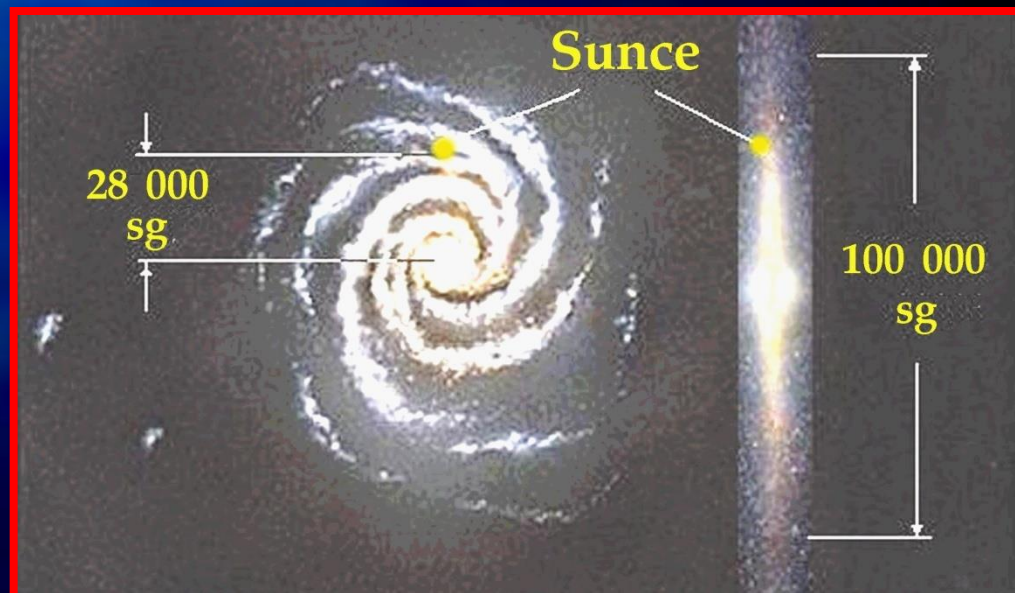
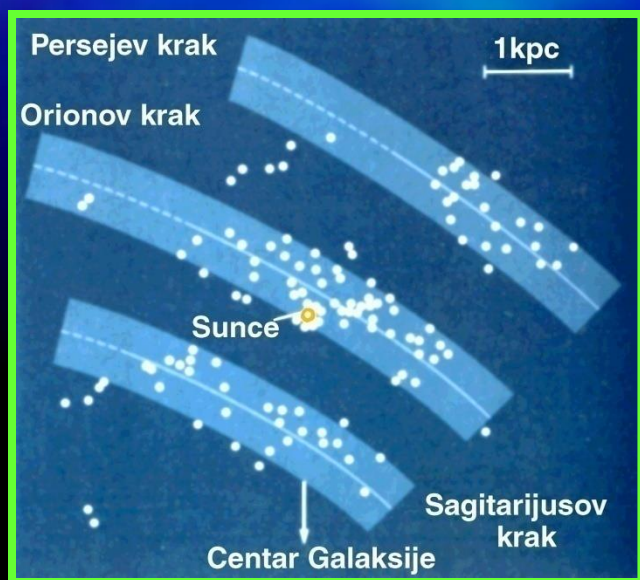
**Naš kosmički sokak čine Sunce i tela koja kruže oko njega. Zajedno oni čine Sunčev sistem.**



Sunčev sistem pripada našoj Galaksiji, koja pored Sunca sadrži još nekoliko stotina milijardi zvezda. Sunčev sistem leži u galaktičkom disku, koji je poznat kao Mlečni Put. Ovaj disk ima oblik spirale, pri čemu spiralni kraci polaze iz jezgra, koje u slučaju Galaksije ima oblik prečage.



Naša Galaksija spada u velike, mada ne i najveće spiralne galaksije. Prečnik njene spiralne formacije je oko 100 000 sg. Sunce se nalazi na periferiji Galaksije, na obodu Orionovog kraka, na oko 28 000 sg od njenog centra. Za nas na Zemlji je dobro da nismo u središtu Galaksije, jer da nije tako ne bi bilo života na Zemlji.



Sunčev sistem sastoji se od Sunca, planeta, planeta patuljaka, satelita, asteroida, kometa, meteoroidnih tela, međuplanetne prašine i gasova.

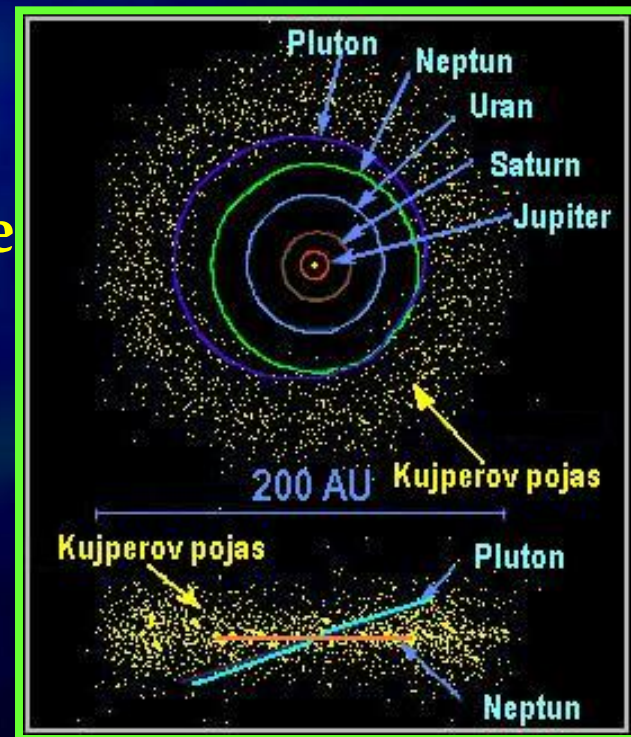


Članovi Sunčevog sistema imaju negativnu mehaničku energiju (računatu u odnosu na Sunce), što znači da su gravitaciono vezani za Sunce (pomoću svoje kinetičke energije tela ne mogu da savladaju privlačnu gravitacionu silu Sunca i da napuste sferu njegove gravitacione dominacije). U protivnom slučaju nakon perturbacije od npr. neke susedne zvezde, brzina tela može da postane takva da ono trajno napušta Sunčev sistem.

U središtu Sunčevog sistema je Sunce. Oko njega kruže planete: Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Uran i Neptun, čija se putanja proteže do 30 AJ od Sunca (AJ je srednje rastojanje od Zemlje do Sunca i iznosi 150 miliona km).

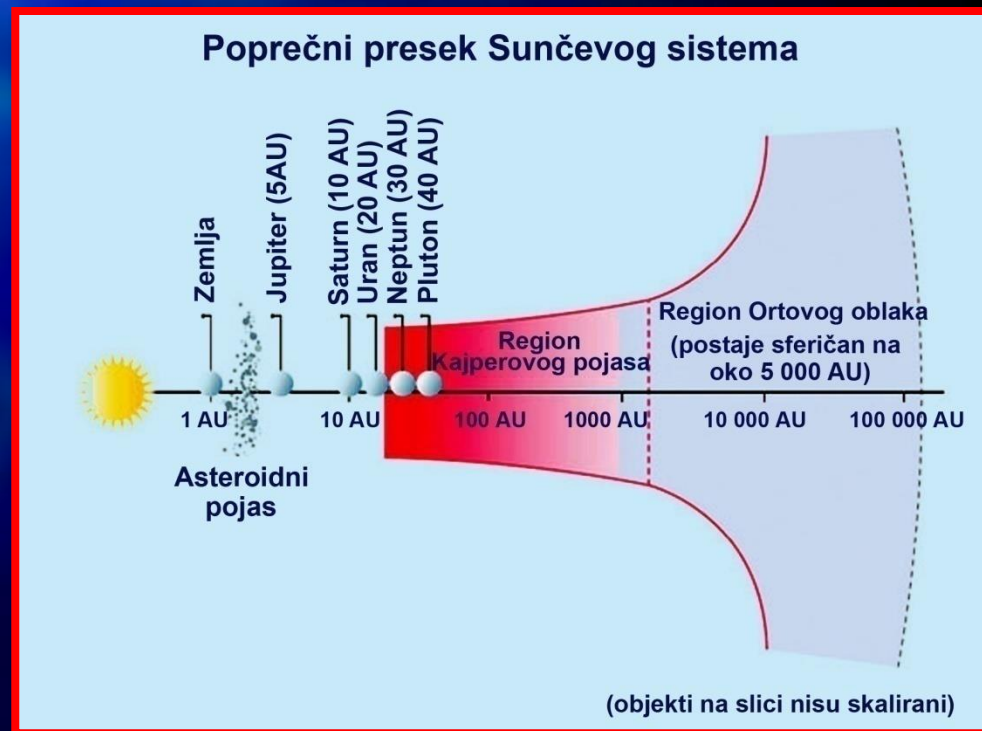
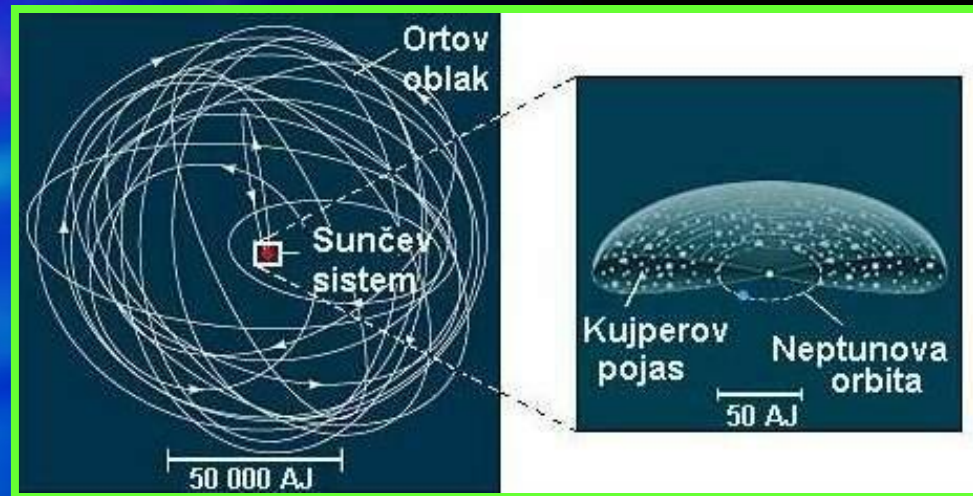


Između Marsa i Jupitera nalazi se pojas asteroida, a iza planetarnog dela sistema nalazi se Kujperov–Edžvortov pojas, oblast u obliku spljoštenog torusa, koji se prostire do 200 AJ.



U Kujperovom pojasu nalazi se veliki broj tzv. transneptunskih ledeno kamenitih tela.

Iza Kujperovog pojasa, počev od 5000 AJ do 150 000 AJ, nalazi se Orto oblak, u kojem se po svemu sudeći, nalazi veliki broj kometa.

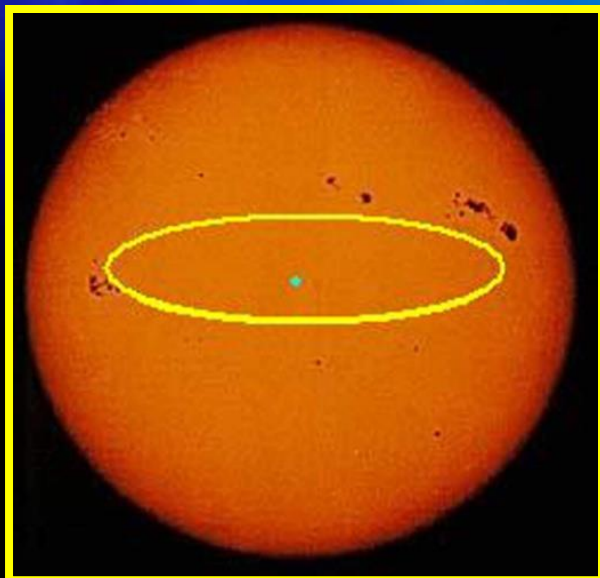


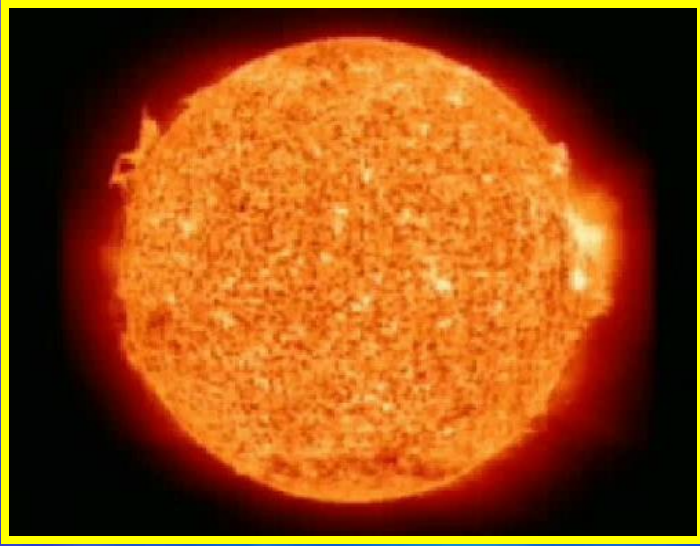


# SUNCE – naša zvezda

Iako je za nas Sunce najveća i najbitnija zvezda u Kosmosu, ono ipak spada u prosečne, čak omanje zvezde. U Galaksiji oko 2% zvezda pripada istoj klasi u kojoj je Sunce, tako da ih ima nekoliko milijardi. Život u njegovom planetarnom sistemu verovatno mu daje karakter osobenosti u odnosu na ostale zvezde.

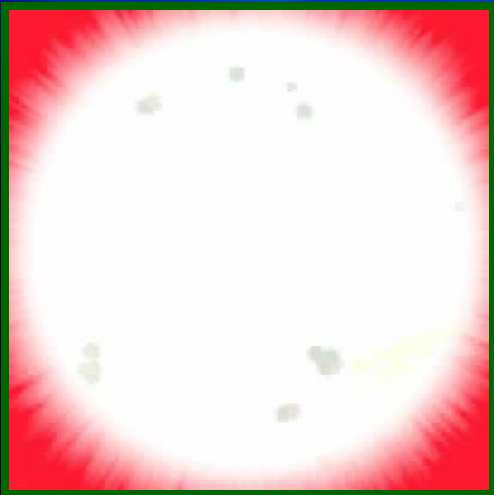
Poluprečnik Sunca je 696.000 km (109 puta veći od Zemlje), dok mu je zapremina 1,3 miliona puta veća od Zemljine.

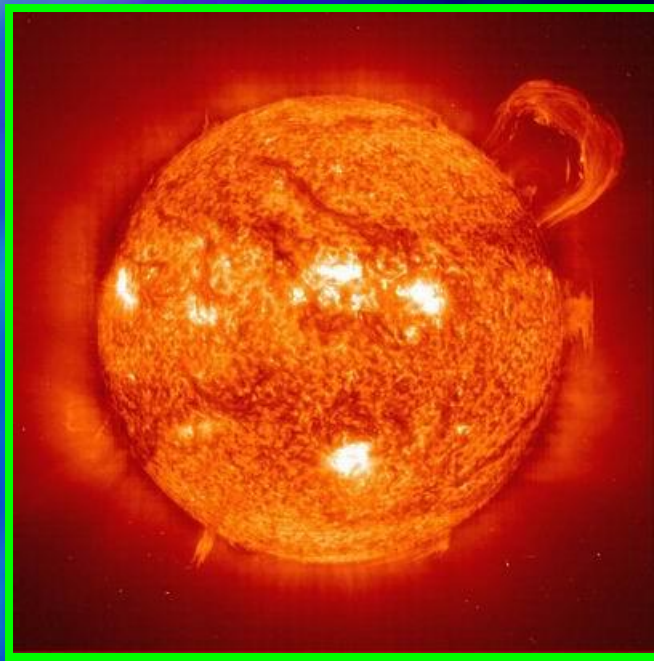




Njegova masa je 333 000 puta veća od Zemljine. Sve planete zajedno sadrže 750-ti deo mase Sunca. Na njega otpada 99,87% ukupne mase Sunčevog sistema.

Masa Sunca godišnje se smanjuje za  $1,5 \cdot 10^{17}$  kg (zbog defekta mase koji se pretvara u energiju u fuzionim reakcijama u njegovom središtu,  $E = \Delta mc^2$ ). Tada se iz 4 vodonikova jezgra dobija jezgro helijuma.





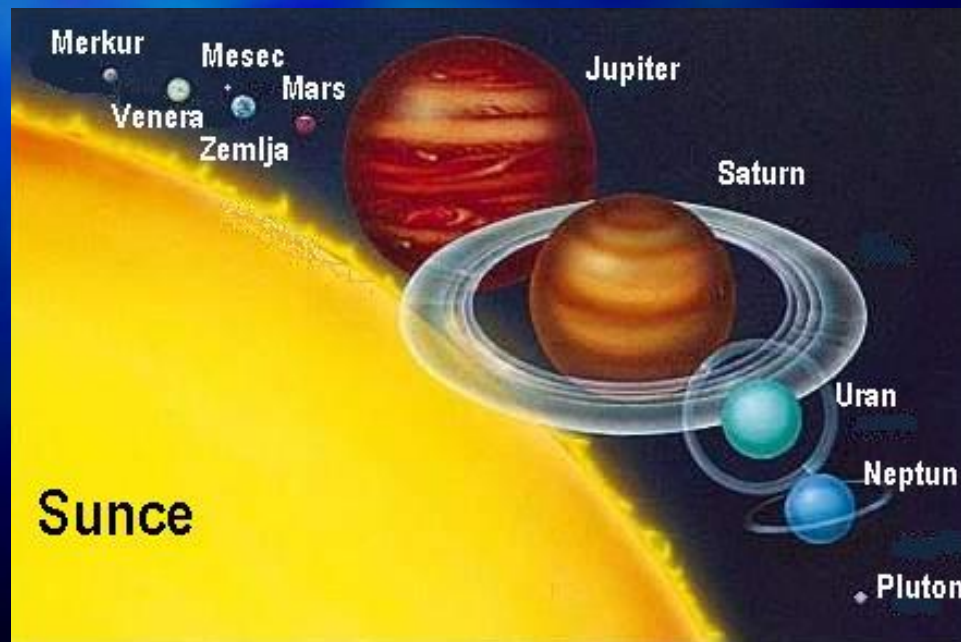
Sunce je usijano, zrači sopstvenu energiju. Svake sekunde se u njemu 700 miliona tona vodonika pretvori u 695 miliona tona helijuma. Tom prilikom ono izrači energiju kao kod eksplozije 150 miliona tona TNT.

Reakcije su omogućene visokim temperaturama (oko 15 miliona stepeni) u jezgru Sunca. Površinska temperatura Sunca je oko 5800 °C.

Samo dvomilijarditi deo te energije stiže na Zemlju, ali i taj deo obezbeđuje život na njoj.

# Planete Sunčevog sistema

Definicija po kojoj su planete hladna nebeska tela koja energiju dobijaju od zvezde (Sunca) nije baš tačna: neke planete (Jupiter, Saturn, pa i naša Zemlja) emituju više energije nego što prime od Sunca. Uzroci još uvek nisu dovoljno proučeni. Imaju "unutrašnje" izvore toplote (malo, ali permanentno sažimanje, pretvaranje gravitacione energije u toplotnu pri padu kondenzovanih kapi He u unutrašnjost, itd.).

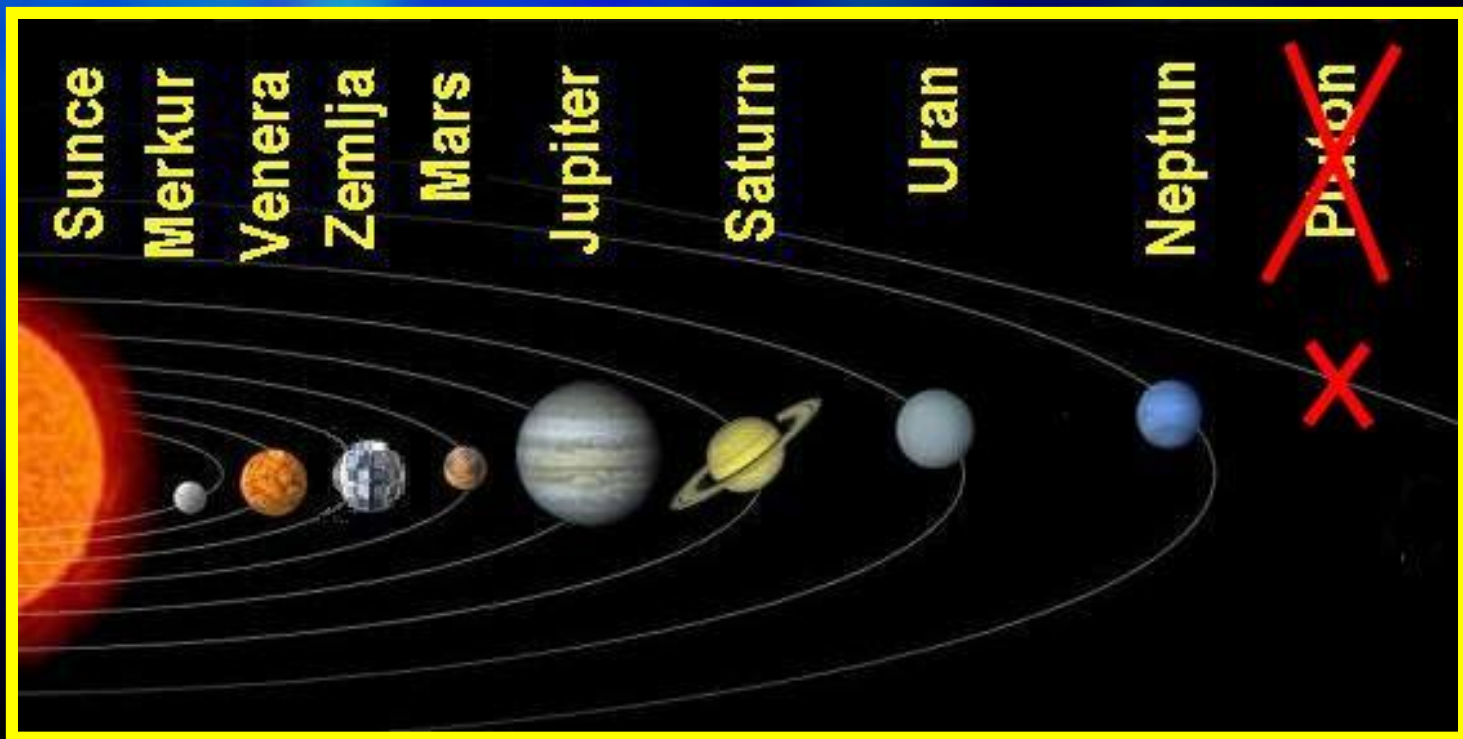


*Na zasedanju Generalne skupštine MAU, od 14. do 25. avgusta 2006. g. u Pragu, rezolucijom 5a prihvaćena je sledeća definicija planeta:*

*Planeta je nebesko telo koje*

- a) se nalazi u orbiti oko Sunca*
- b) ima dovoljnu masu da njena sopstvena gravitacija obezbeđuje (skoro) sferan oblik*
- c) je raščistilo okolinu duž svoje orbite*

Broj planeta u Sunčevom sistemu, prema različitim autorima, kreće se između 6 (antički filozofi–astronomi) i 1066 (pasionirani ljubitelji astrologije i sličnih ezoteričnih pseudo–nauka i stalni saradnici u “Zoni sumraka”). Uran je otkriven 1781. (W. Herschel), Neptun 1846. (Le Verrier, Galle), a Pluton, koji je do 2006. g. tretiran kao planeta, otkriven je 1930. (Tombaugh).



Reč "planeta" potiče od grčke reči  $\pi\lambda\alpha\nu\eta\tau\eta\varsigma$  (koji luta), s obzirom na godišnji način kretanja po nebu i pravljenje "petlji". Ovakav način kretanja objasnio je Kopernikov model heliocentričnog sistema sveta.



## Planete se kreću oko Sunca prema Keplerovim zakonima:

1. Svaka planeta se kreće po elipsi u čijoj se jednoj žiži nalazi Sunce.
2. Sektorska brzina planeta je konstantna.
3. Kvadrati perioda obilaska planeta oko Sunca odnose se kao kubovi velikih poluosa njihovih putanja.



Do zakona je došao empirijski, na osnovu Braheovih merenja. Prva dva su objavljena u *Astronomia nova* (1609.), a treći u *Harmonices mundi* (1619.). Teorijski su dokazani tek Njutnovim zakonom gravitacije.



# Planete Sunčevog sistema se mogu podeliti na dve grupe:

1. Planete Zemljinog tipa (terestričke): Merkur, Venera, Zemlja i Mars
2. Planete Jupiterovog tipa (jovijanske): Jupiter, Saturn, Uran i Neptun

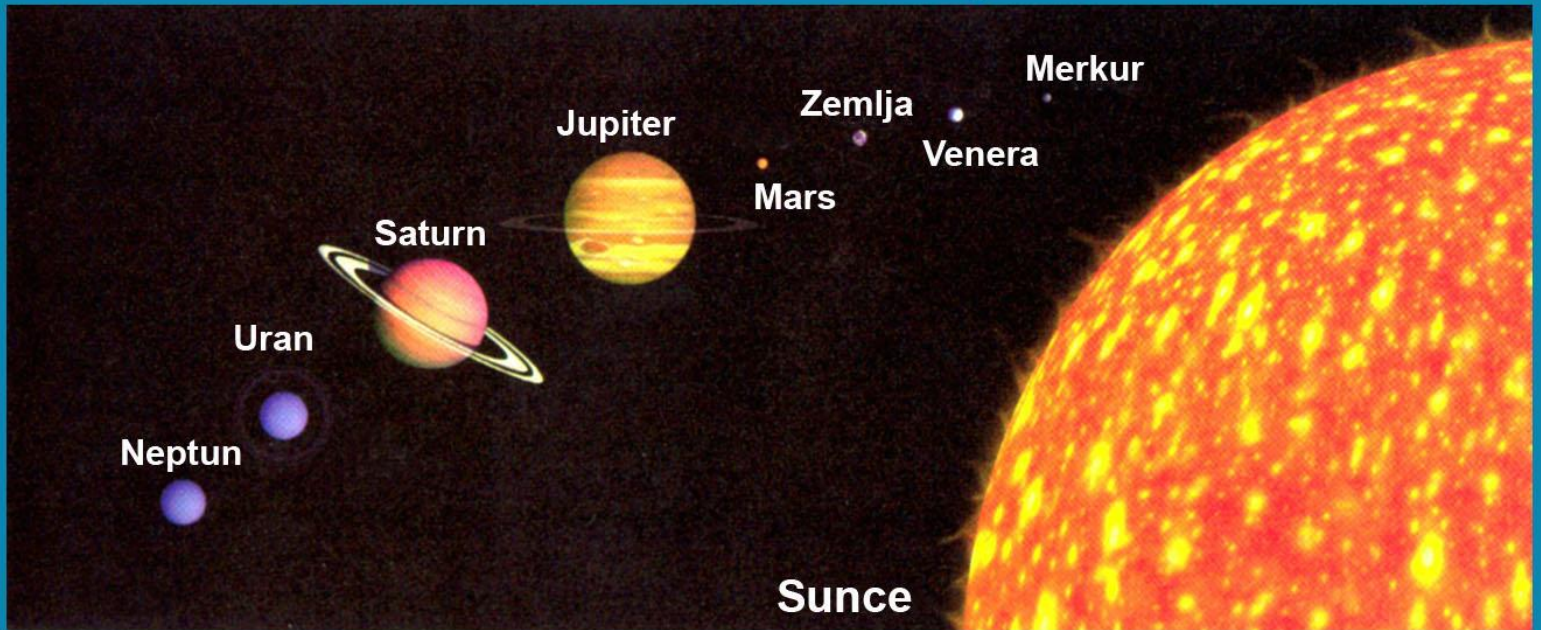


Planete Zemljinog tipa su manjih dimenzija i masa, veće gustine, tanjih i ređih atmosfera, sa malim brojem satelita, sporijom rotacijom oko sopstvene ose i bržom revolucijom oko Sunca. Magnetna polja (osim Zemljinog) su slaba.

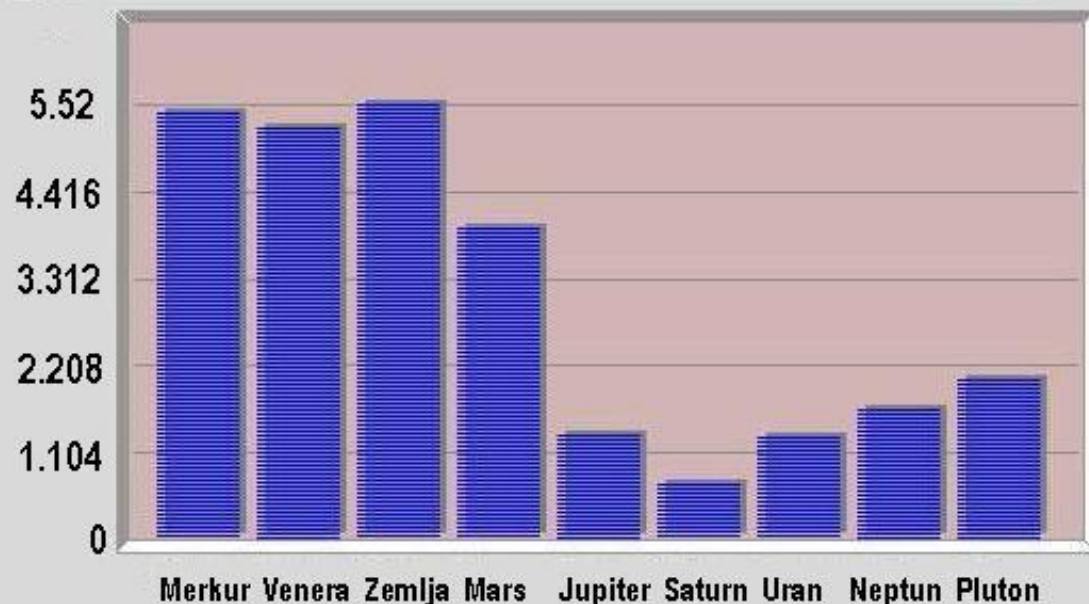


Planete Jupiterovog tipa su džinovske, velikih dimenzija i masa, ali malih gustina (tečno–gasovite; svetovi bez površine). Imaju prostrane i guste atmosfere koje postepeno prelaze u osnovno telo. Poseduju veliki broj satelita. Magnetna polja su jaka.

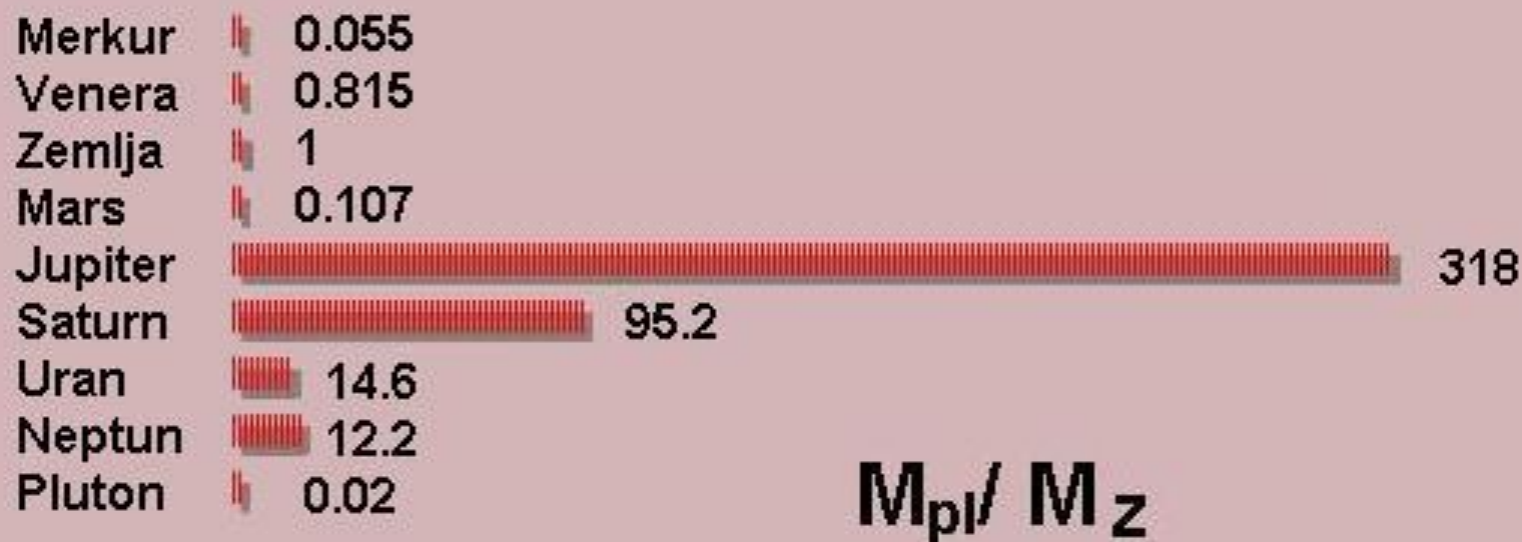
### Odnosi veličina Sunca i planeta



# Poređenja



Srednja gustina planete ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ )



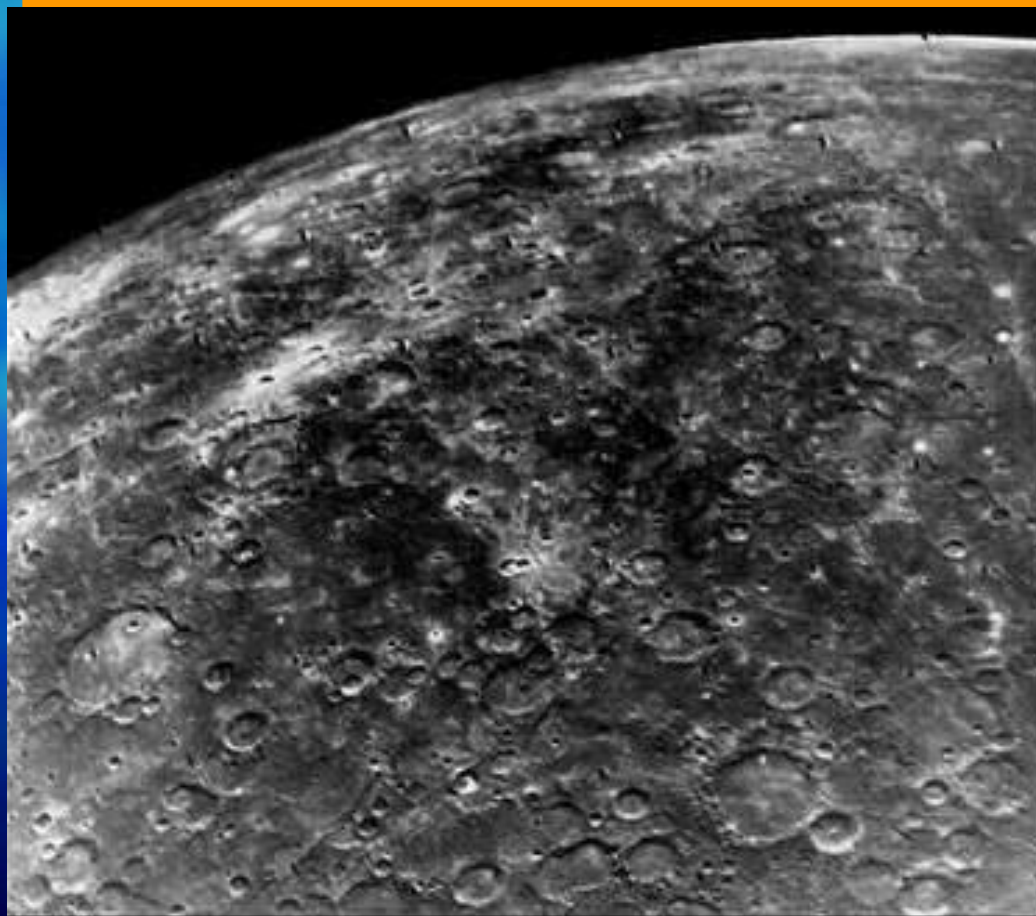
# Merkur

Najmanja terestrička planeta ( $r=2370$  km, 1.4 puta veći od Mesečevog). Srednje rastojanje od Sunca 57.9 miliona km. Godina mu traje skoro 88 zemaljskih dana, a dan 58.65 zemaljskih dana ( $2/3$  godine).

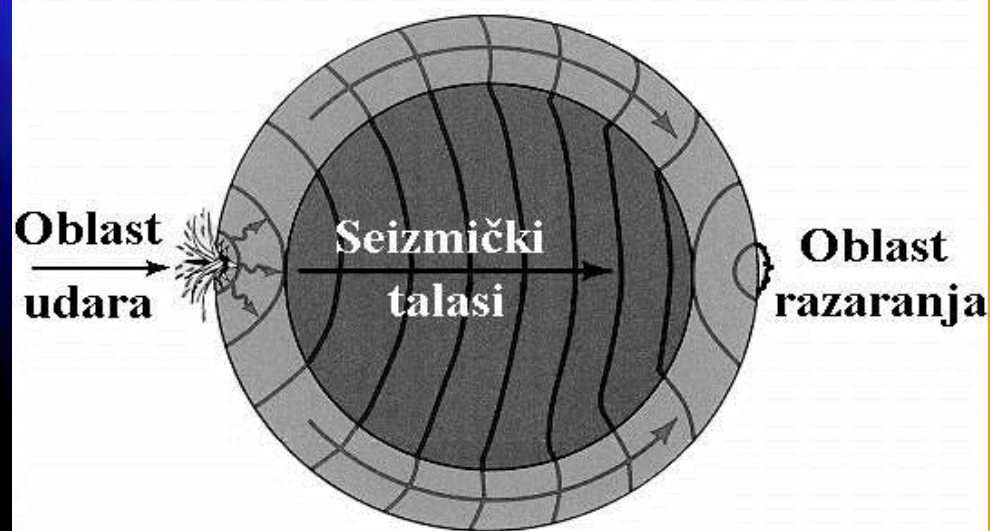
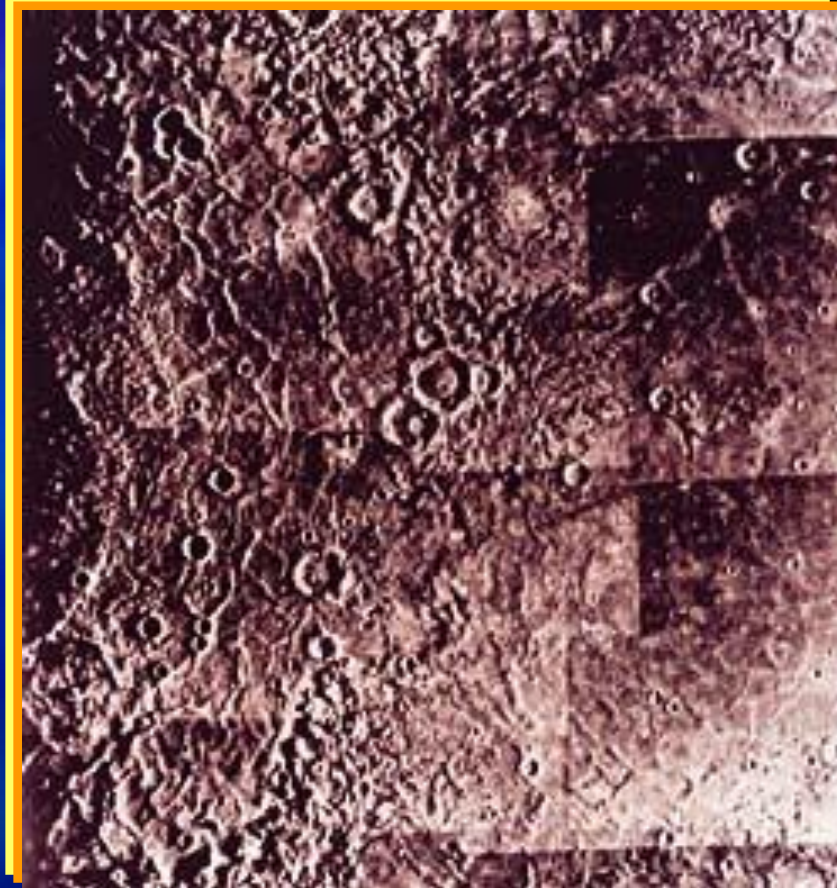


$M=0.0553M_z$ . Malo je ređi od Zemlje. Gravitaciono polje mu je oko dva puta jače od Mesečevog (krateri su plići, sa manje izbačenog materijala; planine su niže). Izgled sličan Mesečevom.

Posledica velikog bombardovanja pre 4.25 milijardi godina, u trajanju od 400 miliona godina.



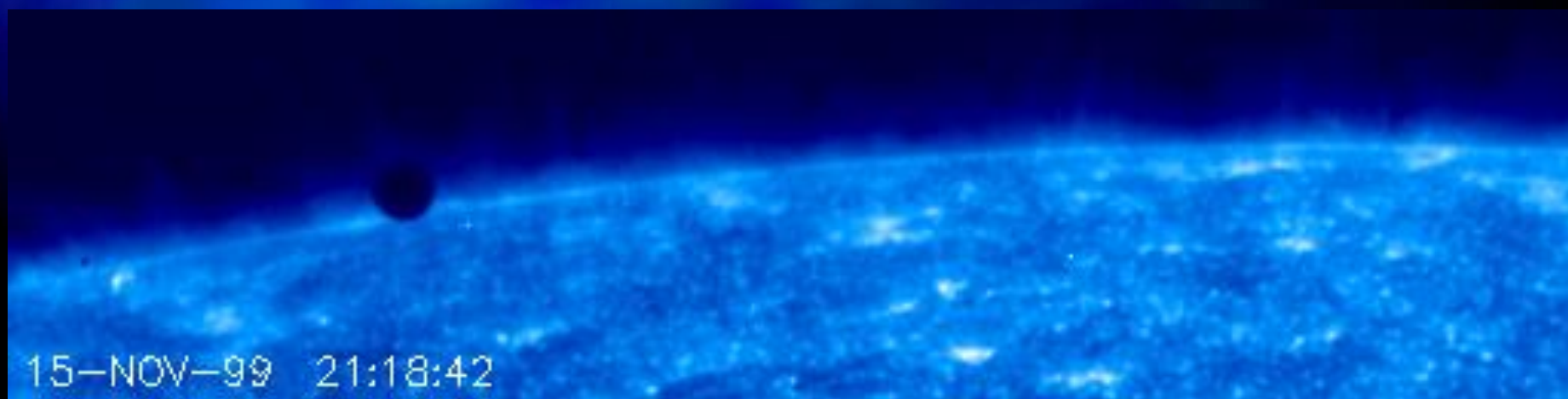
Primer: *Planitia Caloris*  
(Ravnica vrućine) – 1300 km.  
Udar pre 3.8 milijardi godina.  
Razaranja i u antipodnoj tački.



Temperatura na noćnoj strani je  $-173\text{C}$ , a u subsolarnoj tački  $+430\text{C}$ . Kalaj se topi na  $232\text{C}$ , olovo na  $327\text{C}$ , a cink na  $430\text{C}$ . Solarna konstanta ima 10 puta veću vrednost nego na Zemlji.

Atmosfera se javlja samo u tragovima ( $\text{H}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{Xe}, \dots$ ). Degazacija tla i solarni vetar.

Ne tako čest događaj: tranzicija Merkura preko Sunčevog diska.





# Venera

Zemljina bliznakinja, ali samo na prvi pogled.

Ima retrogradnu jako sporu rotaciju, koja je možda posledica sudara sa sopstvenim satelitom. Godina joj traje 243, a dan i noć 116.8 zemaljskih dana. Nema smene godišnjih doba.



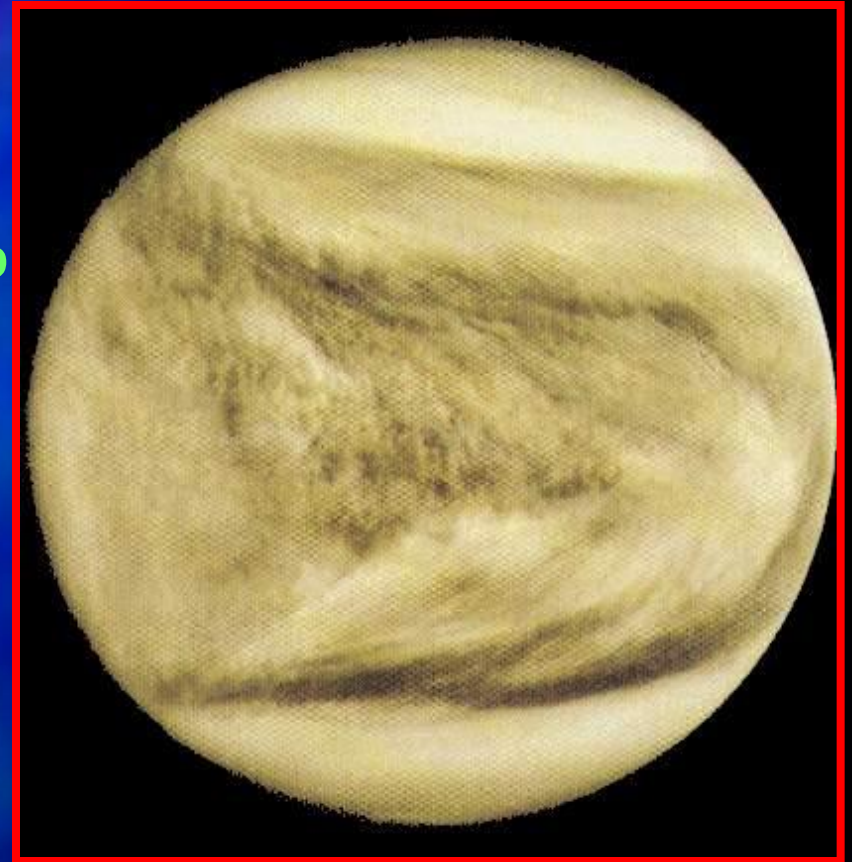
Sa Zemlje se uočavaju njene mene, koje su bile i drevnim narodima.



Ima izuzetno gustu atmosferu punu oblaka. Njihova visina je oko 50 km, a iznad je sloj izmaglice (smog). Na površini je pritisak skoro 100 puta veći od onog na Zemlji (kao u okeanu na dubini od 900 m). Mnoštvo informacija dobijeno je radiolokacionim i radio–astronomskim metodama.

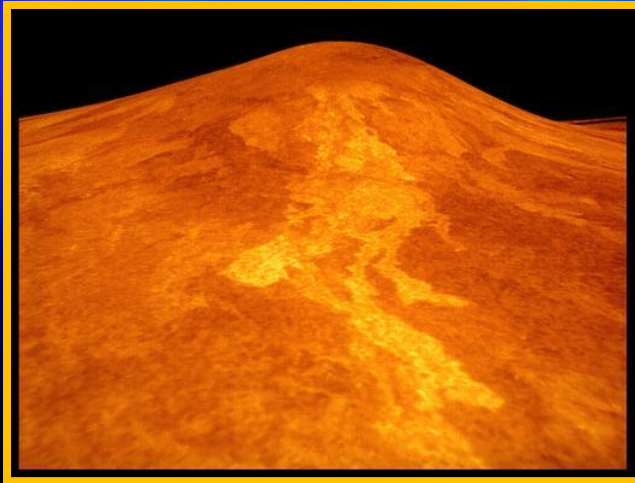
Zbog gustih oblaka, osvetljenost je kao na Zemlji po tmurnom danu, iako do Venere od Sunca stiže dva puta više svetlosti nego na Zemlju.

Na Veneri bi nam horizont stalno izgledao kao da smo u nekom udubljenju. Posledica prelamanja svetlosti u gusnoj atmosferi (kao u vodi na Zemlji).



Oblaci se uglavnom (75–80%) sastoje od kapi sumporne kiseline i imaju svega 0.1% vodene pare. Kiše na Veneri bukvalno su kisele.

Tlo je razlomljeno i kamenito.  
Podseća na pustinje pokrivene  
bazaltnim stenama. Ima mnoštvo  
Tragova vulkanske aktivnosti  
(vulkanske kaldere i krateri,  
tokovi lave).



Prema podacima danas je  
vulkanski neaktivna.

Na tlu nema vode ni u  
kakvom obliku.

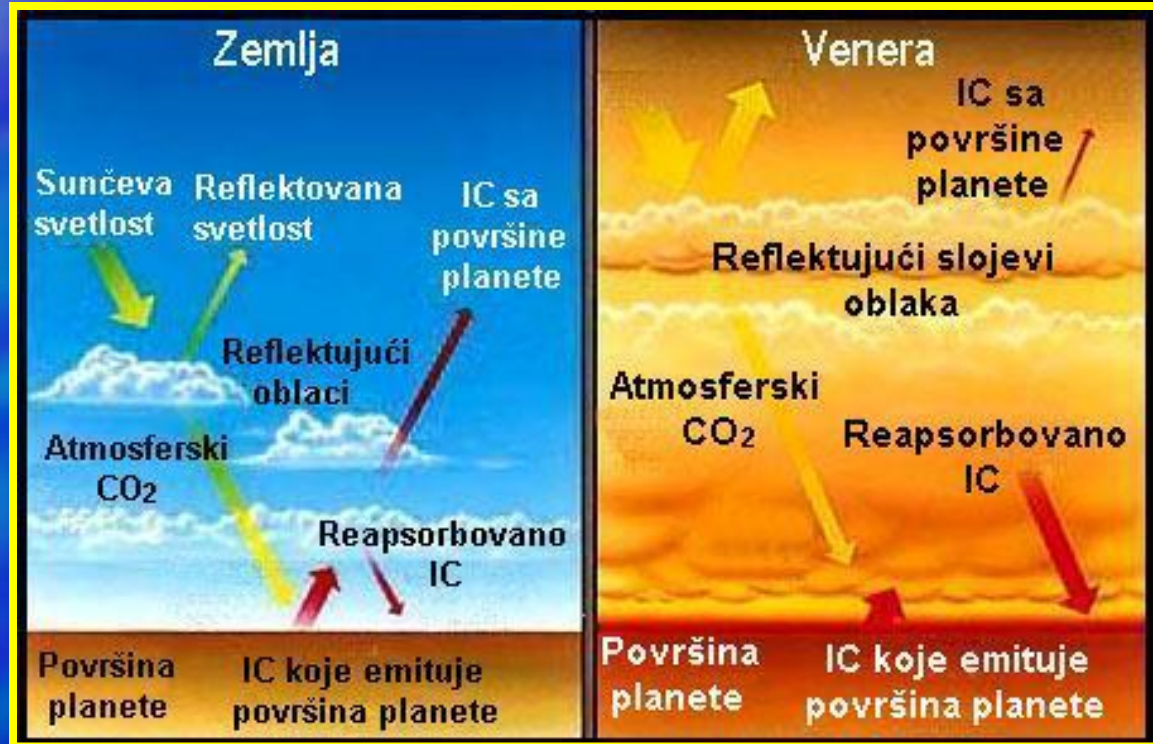
2/3 reljefa su blago zatalasane nizije sa uzvišenjima od 2–3 km. Na visoravni otpada oko 8% površine (Zemlje Ištar i Afrodita, kao Australija i pola Afrike).

Uočljivo je i mnoštvo udarnih kratera (400–600 km).

Magnetno polje je jako slabo (zbog spore rotacije).



U atmosferi ima oko 97% CO<sub>2</sub>, oko 3% N<sub>2</sub>. Kiseonika i vode ima u tragovima. Jako izražen efekat staklene bašte. Temperatura na nivou srednjeg radijusa je oko 470 C.



Prisutna je velika termička inertnost (dnevne varijacije temperature su oko 1 C, a i godišnje su jako male).

Brzina vetrova na tlu je 0.5–1 m/s (do 4 km/h).

# Mars

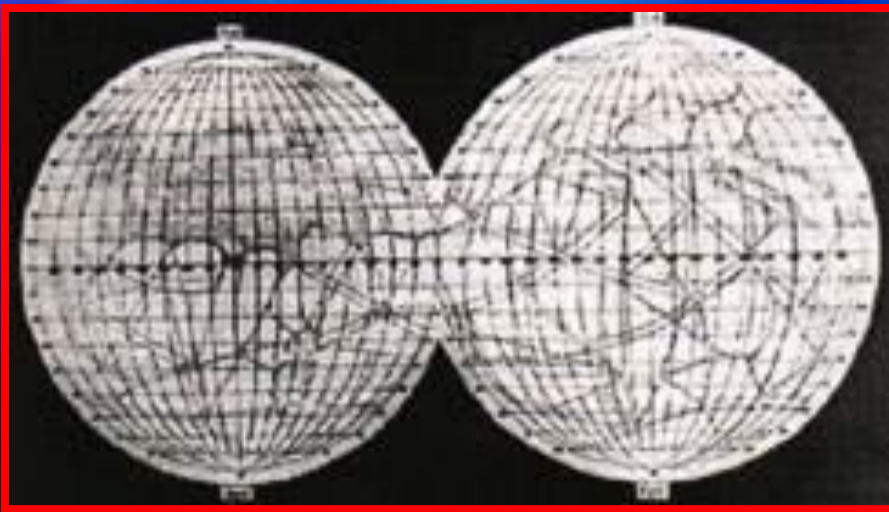
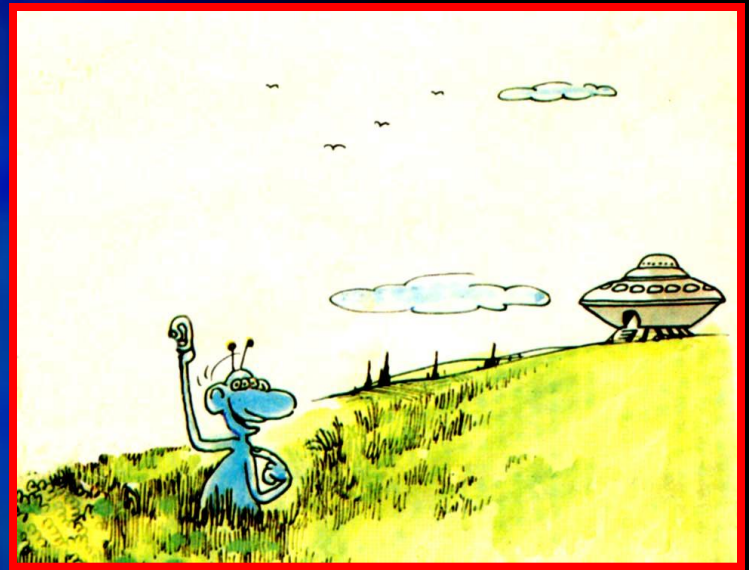


Iako je crvena planeta simbol rata i krvi, ona se nalazi u ekozoni Sunca. Po svemu sudeći jedino nju u Sunčevom sistemu možda možemo jednom naseliti.

Prečnik Marsa je skoro dva puta manji od Zemljinog. Masa Marsa je oko deset puta manja od Zemljine.



Uprkos uvreženih shvatanja da su Marsovci znatno superiorniji od nas, ako je na Marsu i bilo života (ili ga, ne-daj-Bože i danas ima), onda je on imao sasvim rudimentarnu formu.



Giovanni Schiaparelli 1877. g. uočio je kanale na Marsu. Percival Lowell je krajem XIX veka napravio kartu mreže kanala. Možda – irigacioni sistem. Kanali bi trebalo da

biti dugački hiljadama i široki desetinama kilometara. Logično: pumpe koje potiskuju vodu u njima mnogo su snažnije od zemaljskih. Logično: Marsovci mora da su razvijeniji od nas. Ipak kanali su optičke varke.



Još jedna zabluda: “talasi zatamnjenja” od polova ka ekvatoru u vreme Marsovog proleća posledica su bujne vegetacije.



Međutim: nagib ekvatora prema orbiti dovodi do pojave godišnjih doba. To se najbolje vidi po sezonskim promenama polarnih kapa.

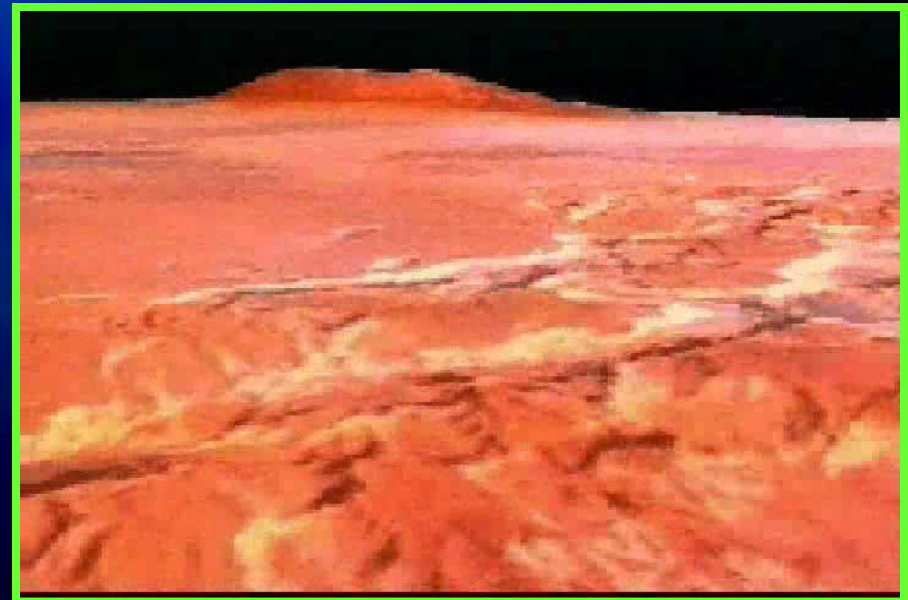
*Mars Global Surveyor* – utvrdio da je severna polarna kapa ravna, a južna je sa

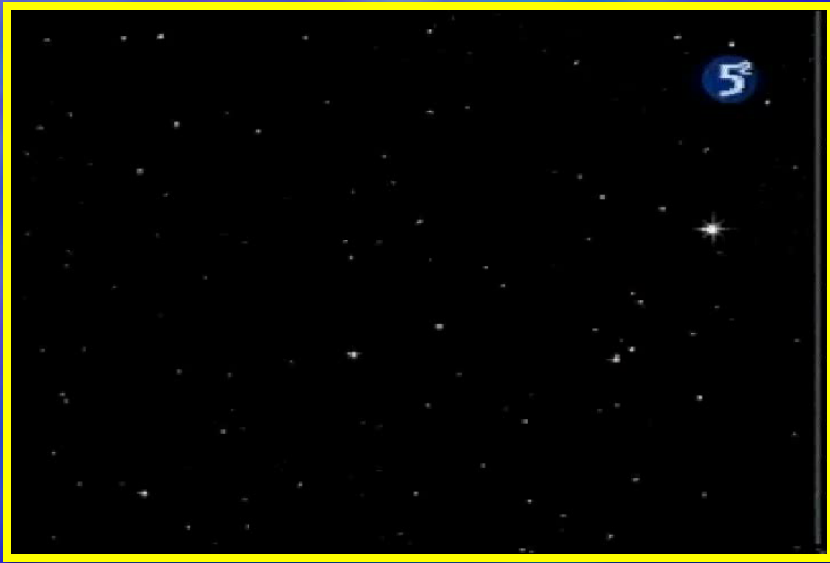
većim pukotinama. Preko leta severna delom opstaje i to onaj deo koji je od zaleđene vode sa klatratima CO<sub>2</sub>. Južna je od suvog leda. Sa topljenjem polarnih kapa menjaju se reflektujuća svojstva tla: dolazi do preraspodele prašinasto – peščanog materijala fine granulacije zbog promene cirkulacije i smera duvanja lokalnih vetrova. Stvaraju se i CO<sub>2</sub> dine na južnom polu. To uzrokuje “talase zatamnjenja”.



Mars je kamenita pustinja. Visinske razlike su 14–16 km. Nivo južne polulopte je 3–4km viši nego na severnoj. Tektonska aktivnost prestala pre milijardu godina. Ima mnogo kratera, pukotina, raseda, kanjona. *Olympus Mons* – najveći (ugašeni) vulkan u S. sistemu (600 km u osnovi, visina kaldere *Nix Olympica* je 27 km).

Kanjon *Valles Marineris* – sistem preko 4000 km dužine, širine do 120 km i dubine do 7 km.





Visinske razlike su 14–16 km.  
U oblasti *Sydonia* je "Lice sa Marsa" – ostatak prastarog erodiranog planinskog terena.

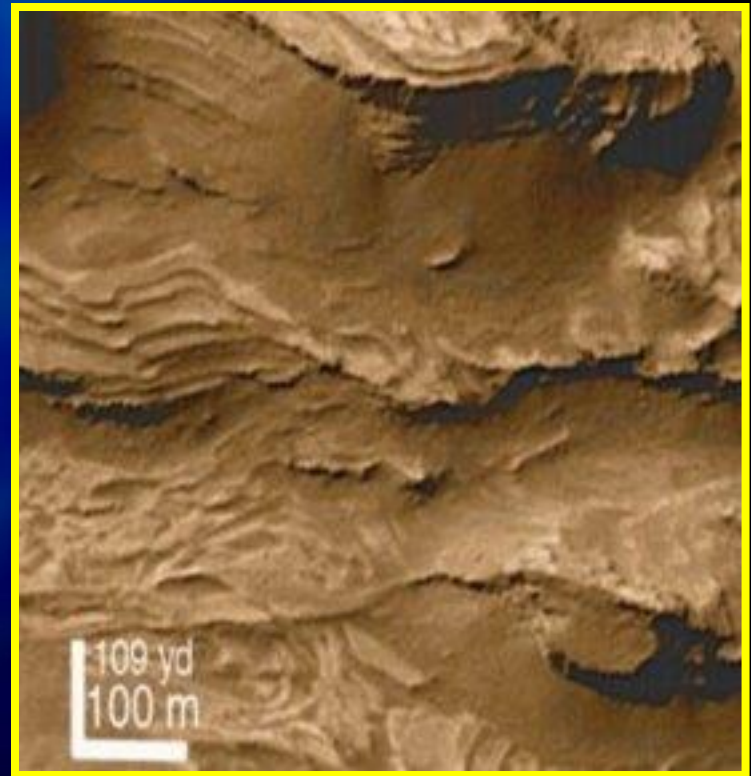
Areograski oblici ukazuju na visok stepen eolske i vodene erozije i glacijalnih procesa.



Tlo je umrvljeno  
(čestice 0.01–0.05 cm).

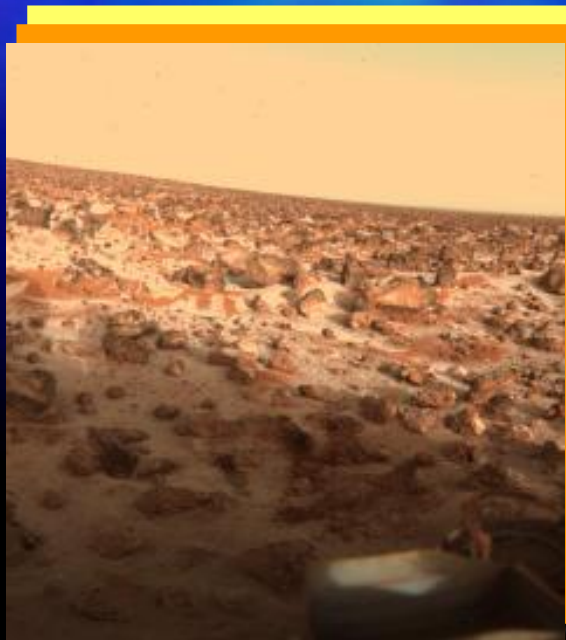
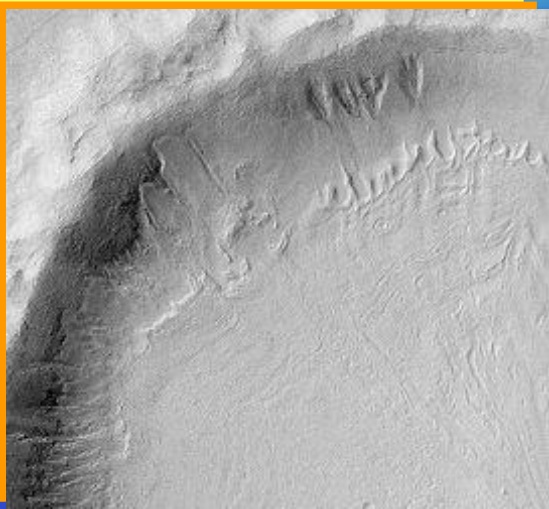


Očigledno da je nekada obilovao vodom. Kada mu je atmosfera bila 20 puta gušća od današnje bilo je tečne vode. Danas mu je atmosfera oko 100 puta ređa od Zemljine. Oko 95% CO<sub>2</sub>, 2,7% N<sub>2</sub>, Ar 1.6%, O<sub>2</sub> 0.15%. Vodene pare u atmosferi ima jako malo. Srednja temperatura je oko -60 C.



Danas: isključeno postojanje tečne vode na površini.

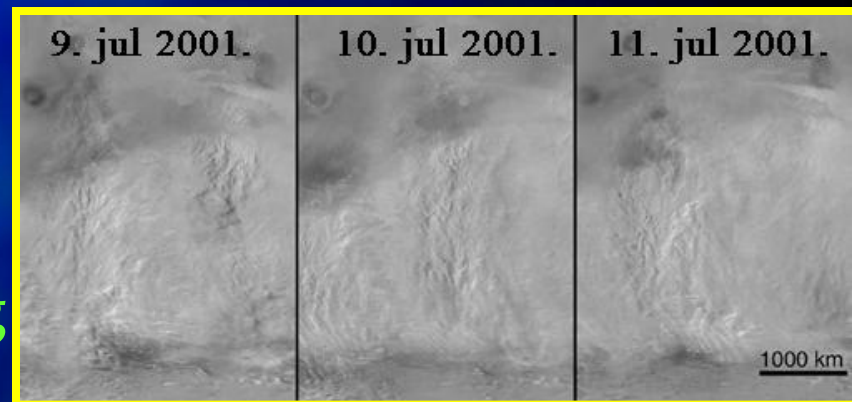
Ali: procene su – u vidu podpovršinskog leda i polarnih kapa vode ima da bi efektivna debljina ravnomerno razlivenog sloja bila 30 m (na Zemlji je 4 km). Marta 2003. g. – tamne pruge na kalderi Olympus Monsa. Vulkanska aktivnost otapa led ispo površine i stvara otopine soli koje su tečne i na nižim temperaturama i pritiscima. Na to ukazuje vodeni led po obodu kratera. Možda tečna voda postoji i u dubljim depresijama gde je pritisak viši.





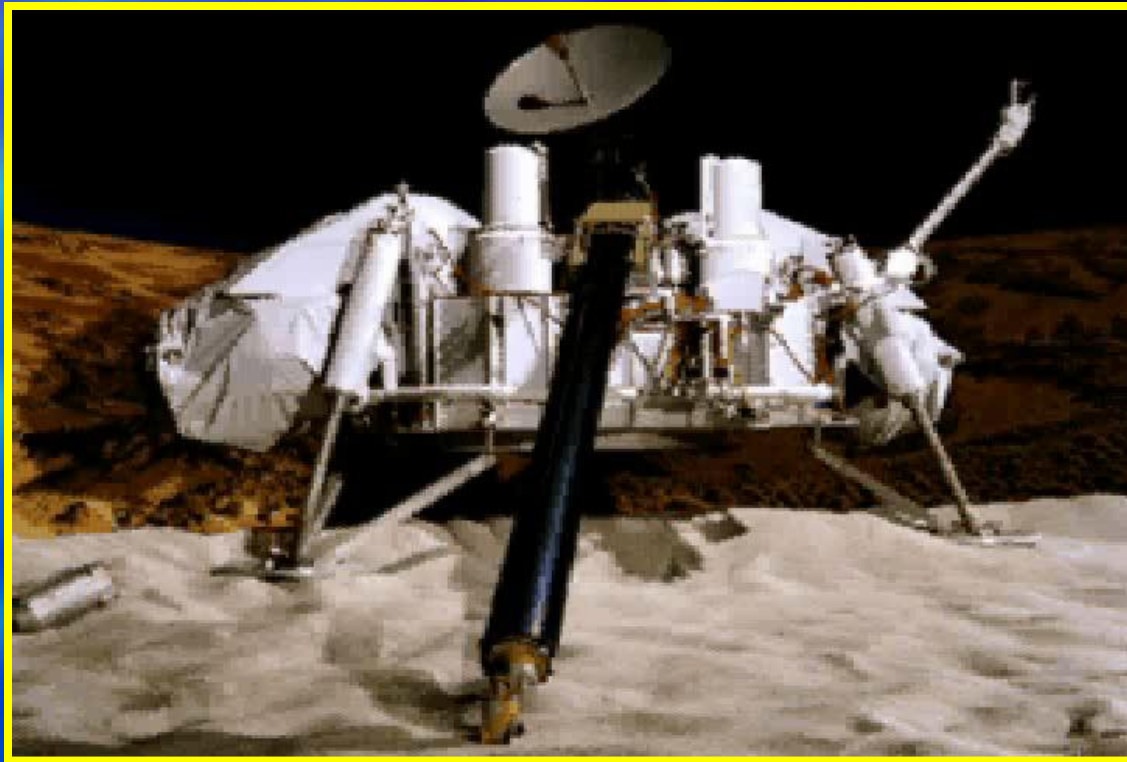
Magle i oblaci (plavi i beli) od v. pare u troposferi nisu stalno prisutni, ali ih ima.

Zato su prisutne peščane oluje. Brzina vetrova 80–100 m/s (do 360 km/h). U sezoni su globalnog karaktera.



Oblaci prašine su žučkasti, visine do 10 km, ujednačuju temperaturne kontraste.

Peščane oluje dovode do efekta antistaklenika – Sunčeva energija ne dospeva do površine i slabo je zagreva.



Sonde koje su se spuštale na Mars ili koje su njegovi sateliti nisu otkrile pouzdane dokaze za postojanje bioloških aktivnosti. Možda i jer su radile u jako kiselj sredini.

Oko 2014. g. na Zemlji se očekuju prvi uzorci sa Marsove površine. Svi oni će morati najpre u karantin.

Od 20000 meteorita na Zemlji za 14 se smatra da su sa Marsa. Najpoznatiji je ALH84001. Pre 16 miliona g. telo udarilo u Mars. Deo je napustio Marsovu gravitaciju. Pre 13000 g. pao je na Antarktiku. Pronađen je 1984. g., a 1993. g. je utvrđeno da je

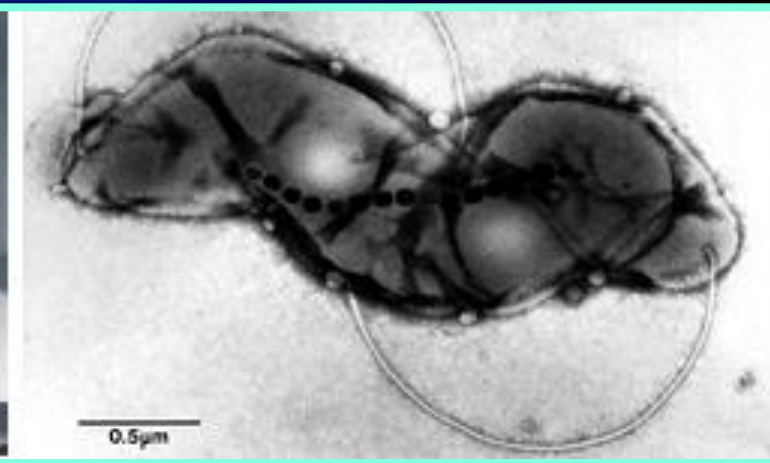
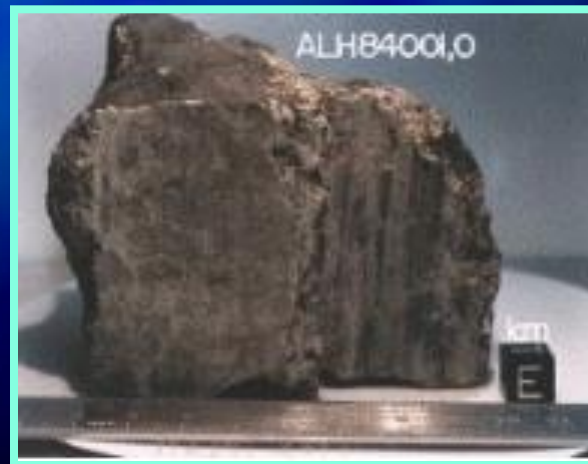
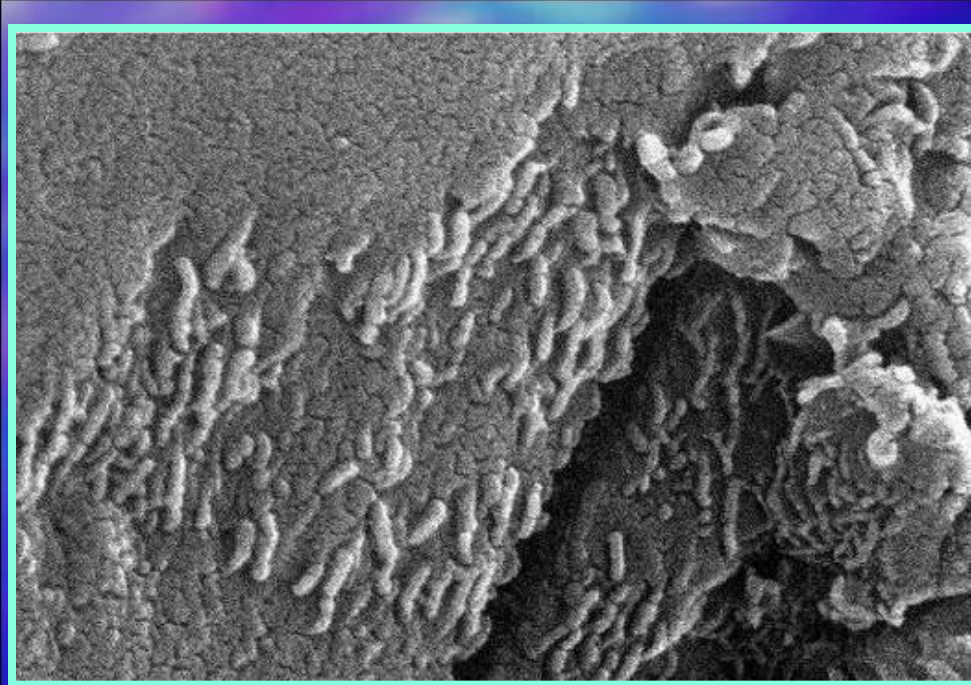


sa Marsa. U njegovoj strukturi pronadene su crvolike forme. Organski molekuli stari su 3.6 milijardi godina.

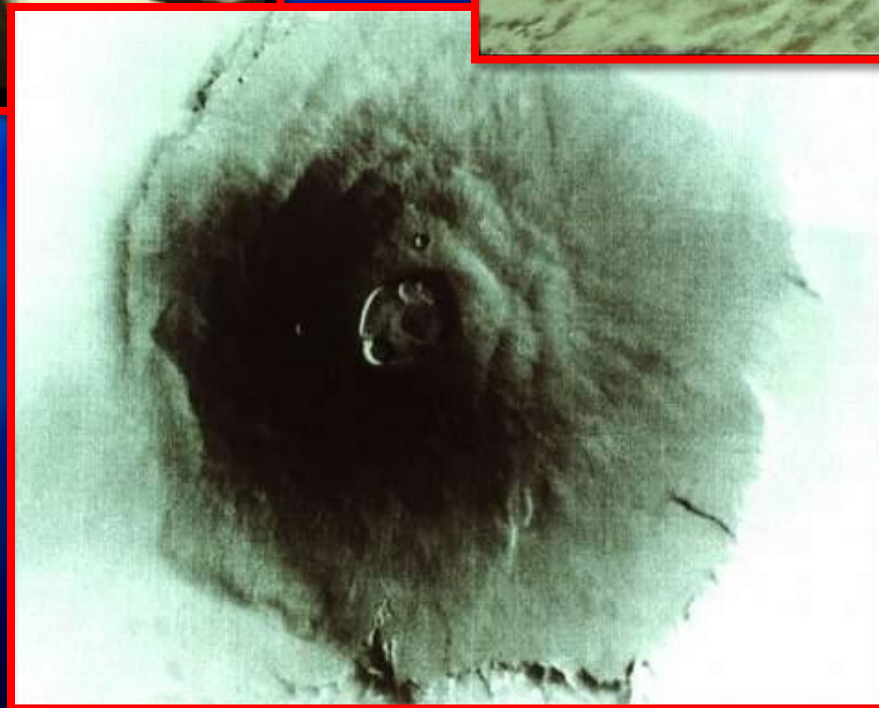
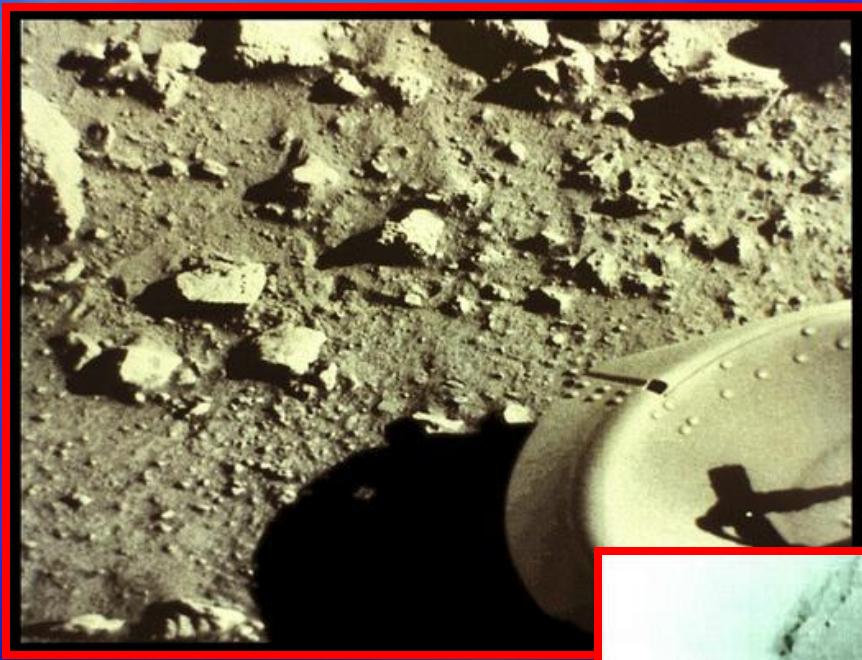


Možda je "zaprljan" životom na Zemlji, a možda se radi o kristalizaciji u specifičnim uslovima.

Traganje se nastavlja.



# Još po neki prizor sa Marsa

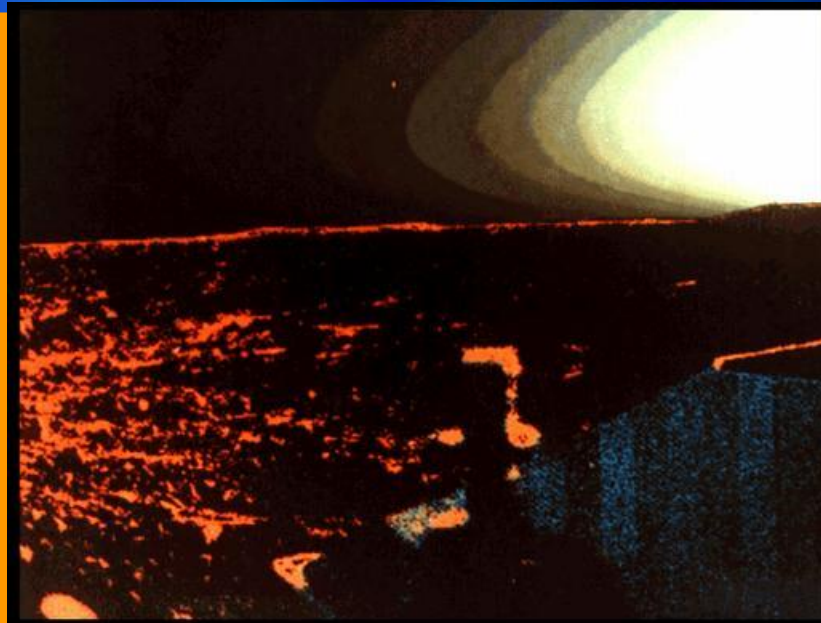
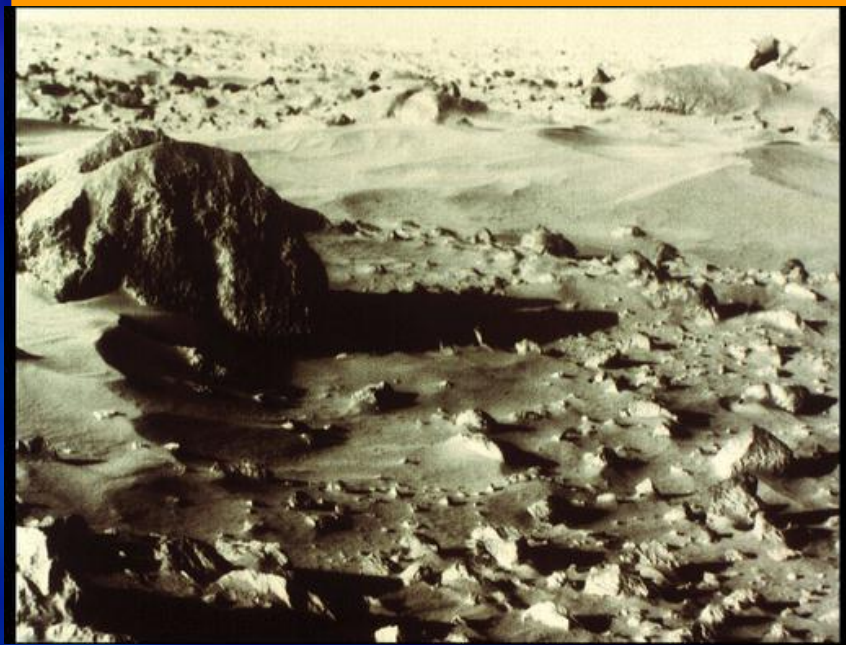


## Globalna peščana oluja na Marsu



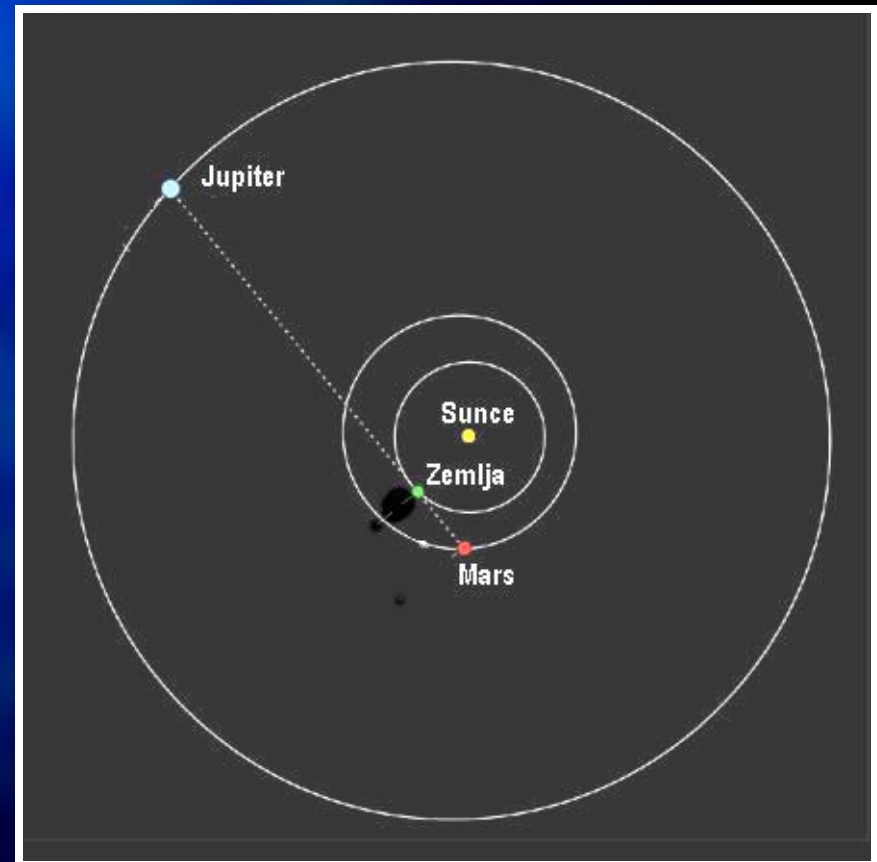
26. jun 2001.

4. septembar 2001.



Zalazak Sunca na Marsu.

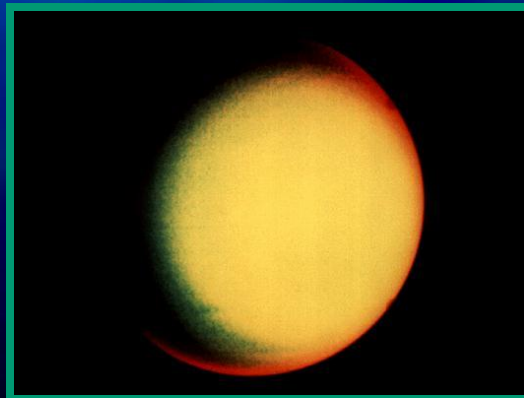
U toku pripreme predavanja stigli su najnoviji snimci (8. maj 2003.) sa Mars Global Surveyor-a: Zemlja i Mesec snimljeni iz orbite oko Marsa. Rastojanje između Marsa i Zemlje u trenutku snimanja iznosilo je oko 139 miliona km.



# Jovijanske planete

Jupiter, Saturn, Uran i Neptun.  
Gasovito-tečne planete. Svetovi  
bez čvrste površine – gusta  
prostrana atmosfera od metana,  
amonijaka i vodonika  
postepeno prelazi u osnovno telo.

Po hemijskom sastavu podsećaju  
na Sunce – preko 85% mase  
otpada na H i He.

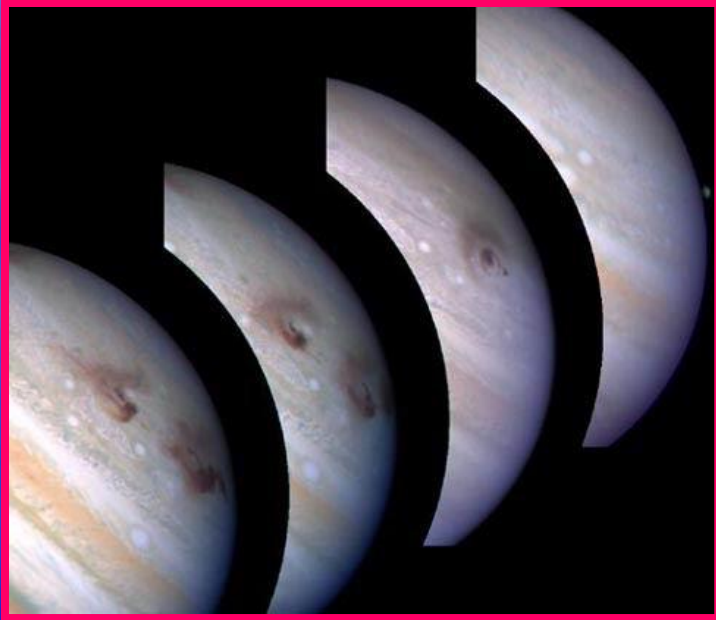




Džinovskih su dimenzija.  
Brzo rotiraju i to diferencijalno.



1994. godine kometa Šumejker  
–Levi se raspala i njeni komadi  
su pali na gasovito “tlo”  
Jupitera.



Posle svega par rotacija planete, "ožiljci", čak i oni od "četvoročlane bande", bili su ispeglani.



$$T = \frac{288}{\sqrt{R}} (K)$$

U skladu sa formulom (R je rastojanje od Sunca u AU, 288 je srednja temperatura Zemlje) temperature ovih planeta su za nastanak života vrlo niske: približno  $-138$  C za Jupiter,  $-170$  C saturn,  $-220$  C Uran,  $-223$  C Neptun. Nema sezonskih i dnevnih promena temperature. Nova istraživanja: promene sjaja pojaseva oblaka na Neptunu ukazuju na sezonske promene koje traju decenijama.

Dobijaju znatno manju gustinu fluksa Sunčeve energije u odnosu na Zemlju (Jupiter 27 puta, Saturn oko 100 puta), ali zato više emituju nego što prime. Imaju "unutrašnje" izvore toplote (sažimanje, pretvaranje gravit. energije u toplotnu pri padu kondenzovanih kapi He u unutrašnjost, itd.). Zbog niskih temperatura u atmosferama su kristali metana, amonijaka, itd.

Guste atmosfere stvaraju enormne pritiske. Jaka magnetna polja i brze rotacije dovode do intenzivnih električnih pražnjenja.



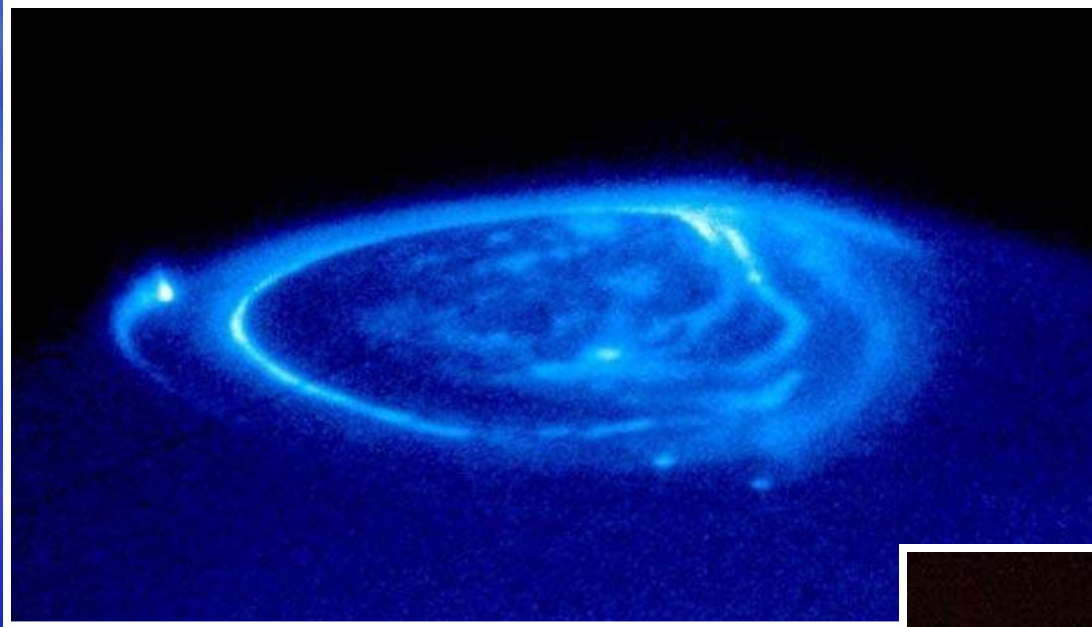


Sunčev vetar i prostrane magnetosfere stvaraju aurore.



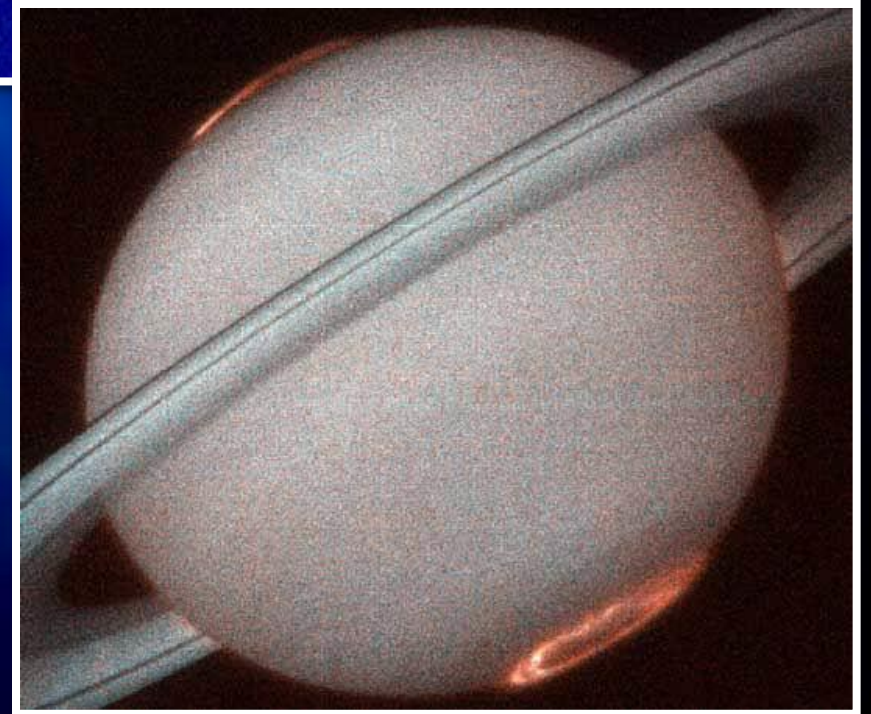
Ovako one mogu da izgledaju na Zemlji.

**A ovako**

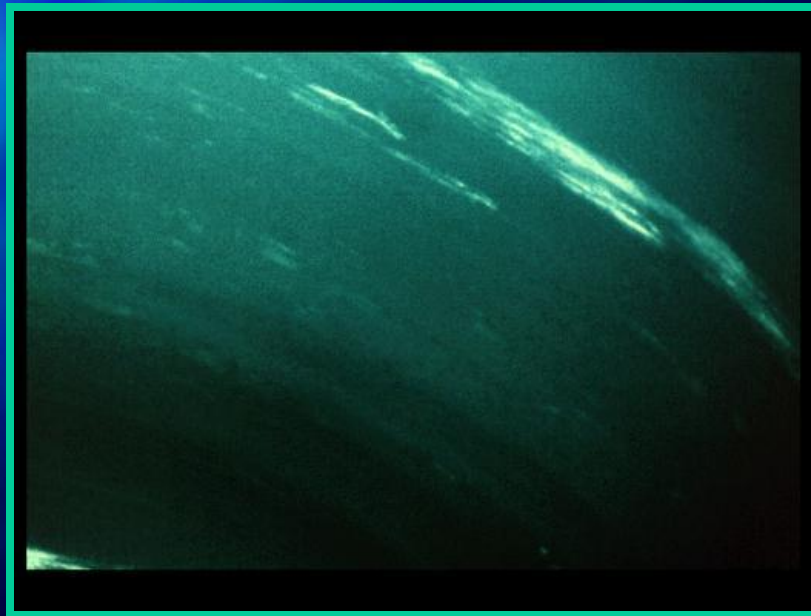


**na Jupiteru**

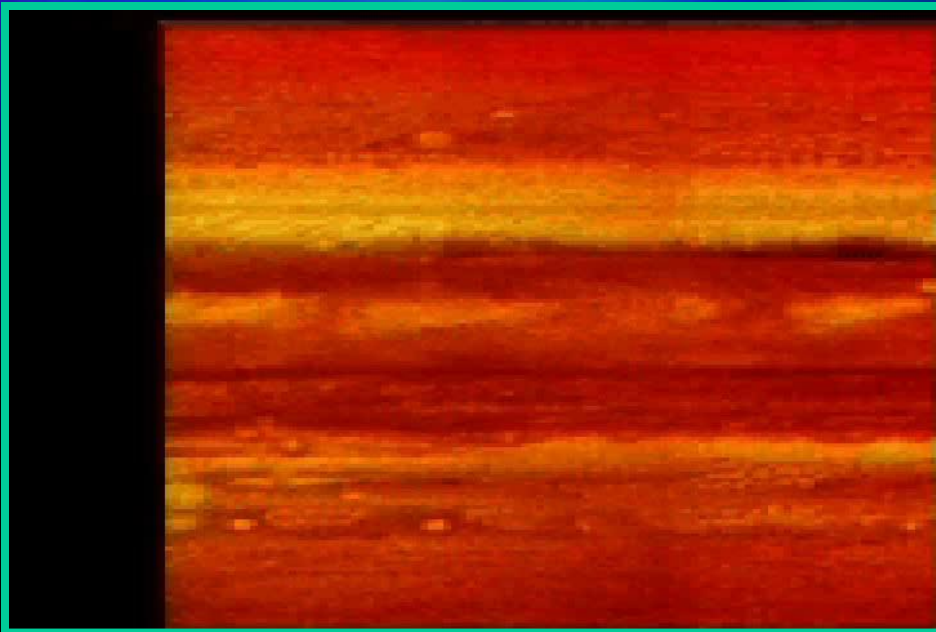
**ili na Saturnu**



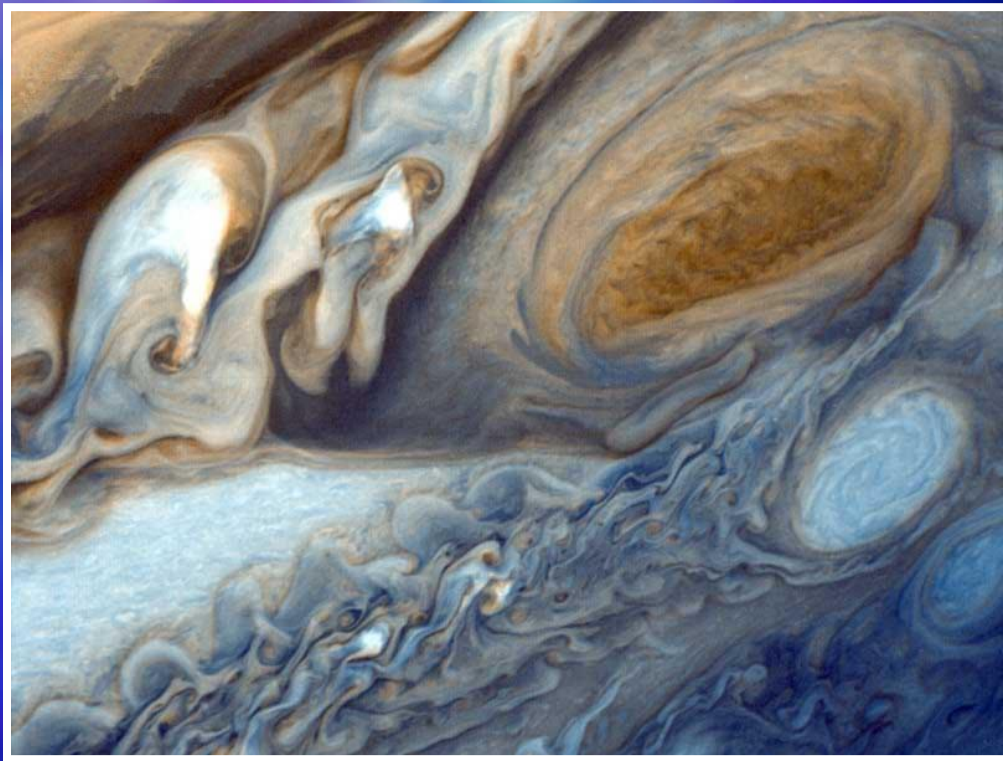
Dobijaju znatno manju gustinu fluksa Sunčeve energije u odnosu na Zemlju (Jupiter 27 puta, Saturn oko 100 puta), ali zato više emituju nego što prime. Imaju “unutrašnje” izvore toplote (sažimanje, pretvaranje gravit. energije u toplotnu pri padu kondenzovanih kapi He u unutrašnjost, itd.). Zbog niskih temperatura u atmosferama su kristali metana, amonijaka, itd. Karakterišu ih sistemi gustih oblaka koji im daju prepoznatljiv oblik.



U atmosferama duvaju snažni i brzi vetrovi (na Jupiteru 400 km/h, Saturnu 1400–1800 km/h).

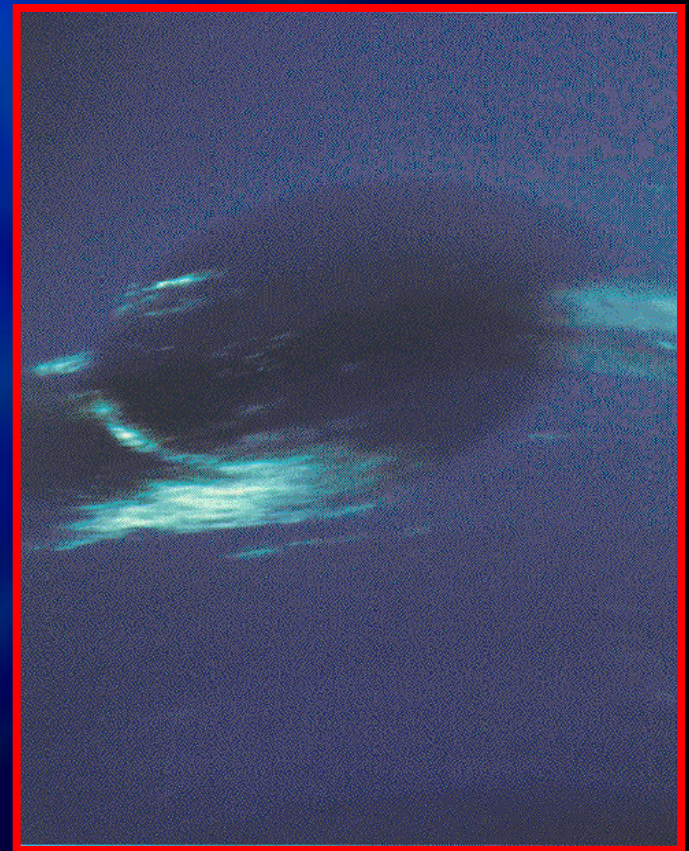
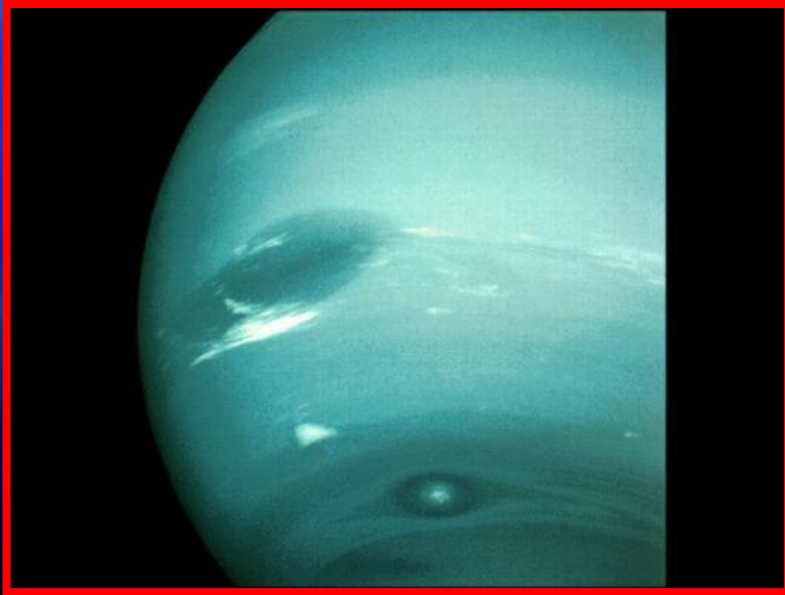


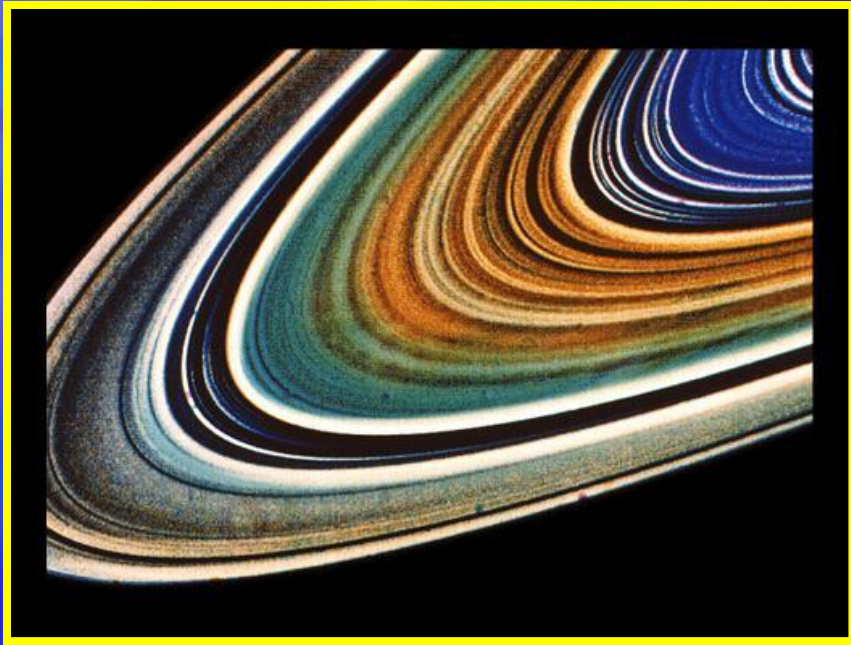
Uz zonalnu rotaciju to dovodi do velikih nestabilnosti i turbulencija u atmosferama svih planeta ovog tipa.



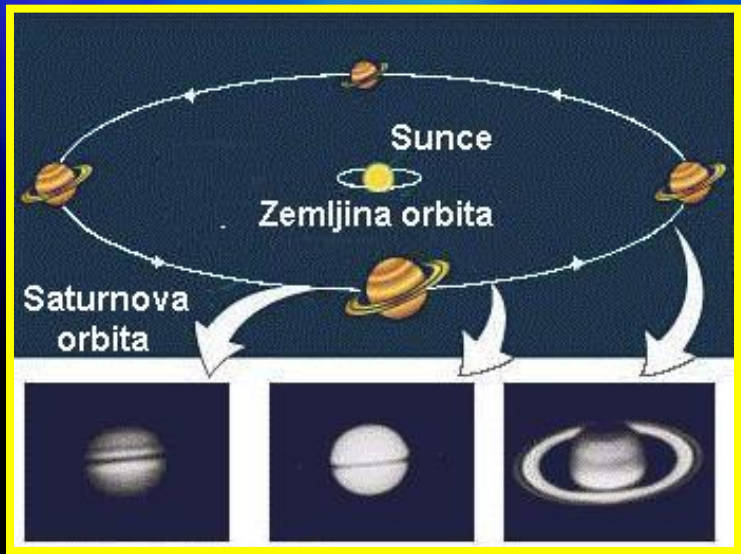
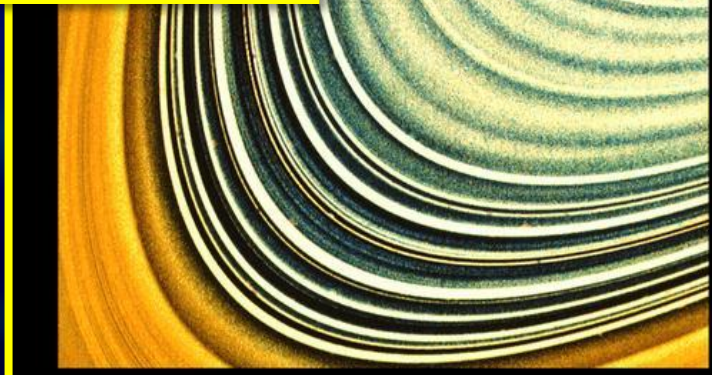
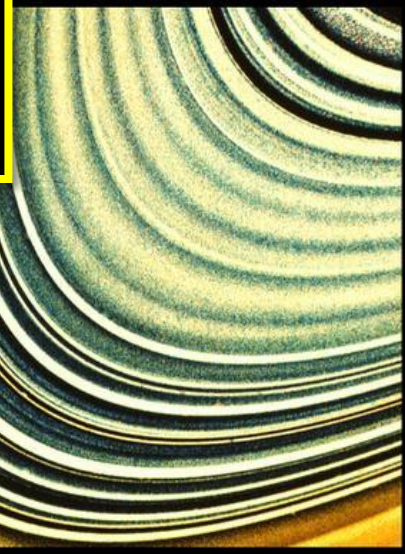
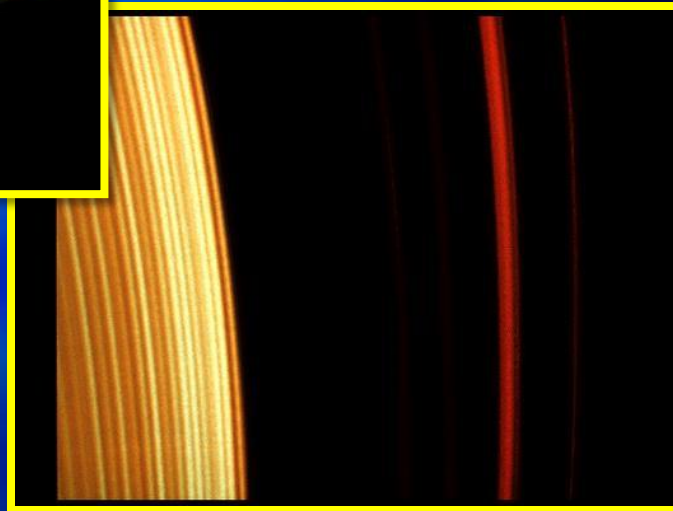
Jupiter – Velika crvena pega (Robert Huk, 1664. god.).  
Džinovski tornado (14000x40000 km, kao tri Zemlje). Po nekim procenama traje već milion godina. Povremeno menja boju, intenzitet i jovijansku širinu položaja. Crvena boja možda potiče od fosfina (miriše na beli luk). “Hrani” se manjim nestabilnostima, pre svega južnom tropskom perturbacijom, koja je niža i povremeno prolazi “kroz” nju. .

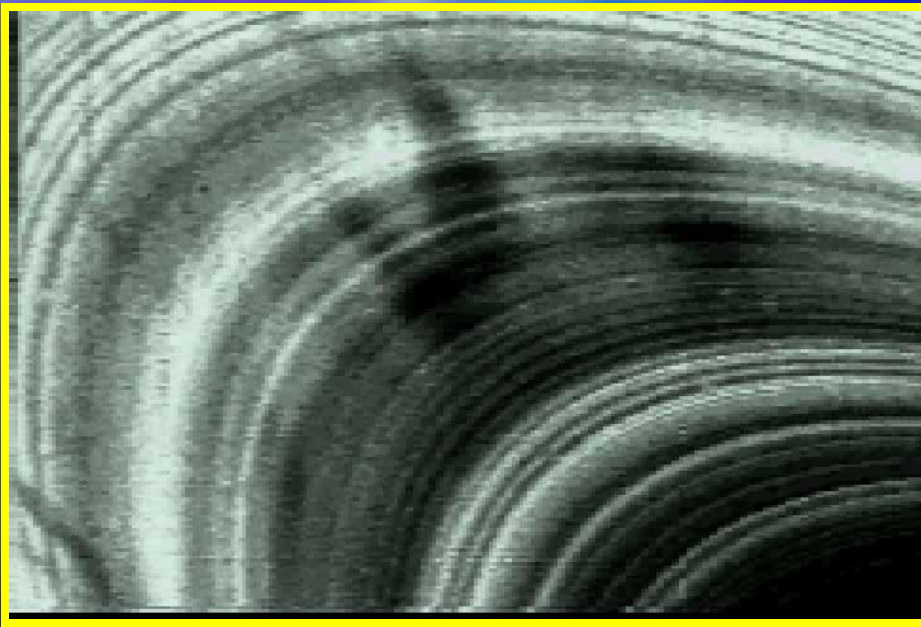
Slični "vrtlozi" postoje i na drugim jovijanskim planetama. Na Neptunu, koji je zelen zbog metana (apsorbuje crvenu, a rasejava sivo-zelenu boju), dominira Velika crna pega.





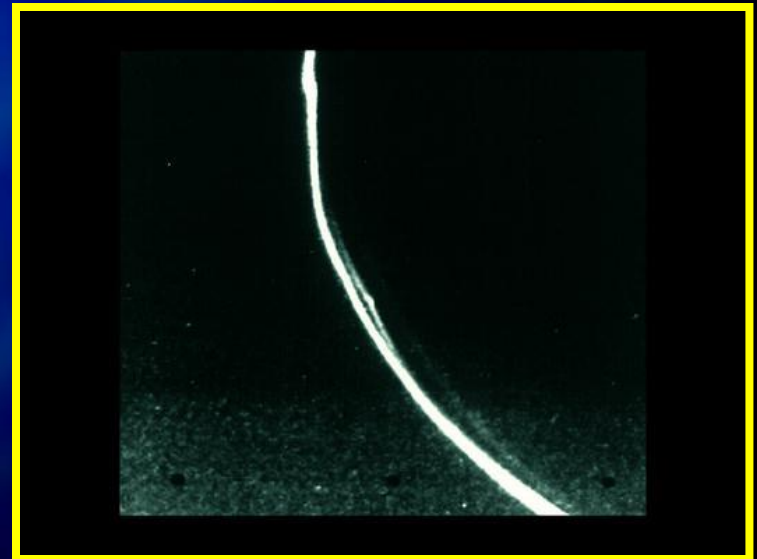
Sve planete ovog tipa imaju prstenove, ali su Saturnovi najspektakularniji.





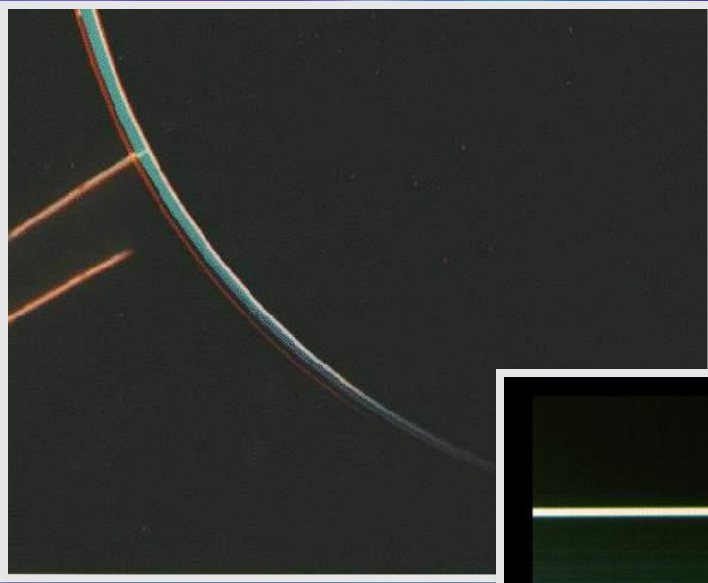
Interesantno je postojanje poprečnih "paoka", iako prstenčići rotiraju različitim ugaonim brzinama. Uzrok su verovatno perturbacije od strane satelita ili specifična magnetna polja.

Na sličan način objašnjavaju se i "uplitanja" prstenčića.

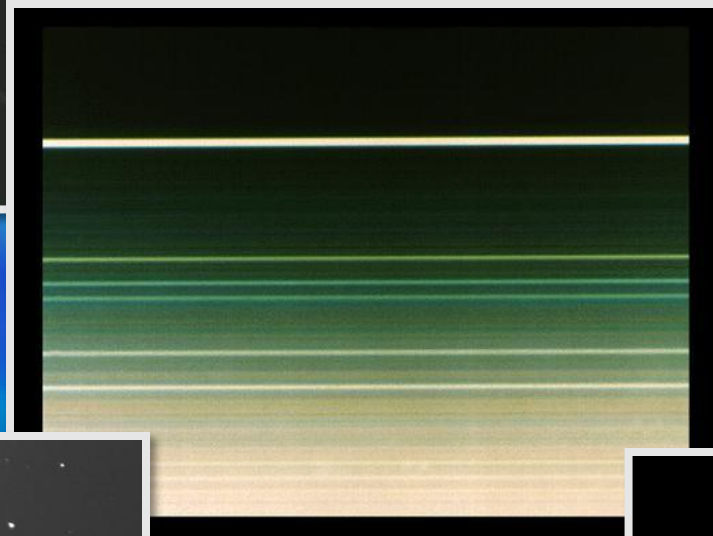




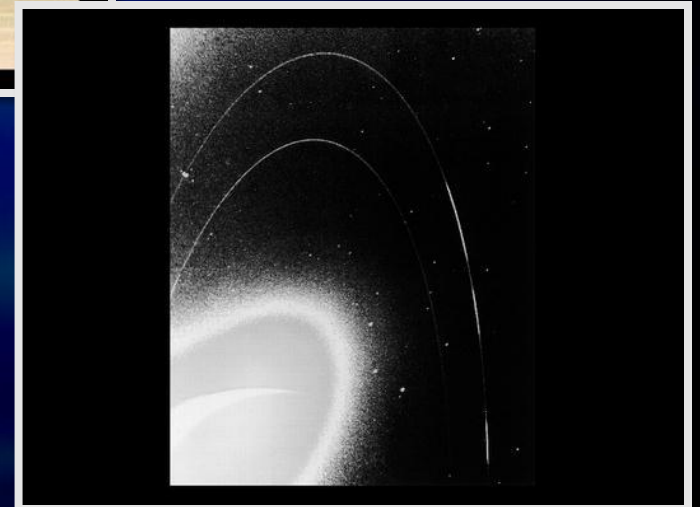
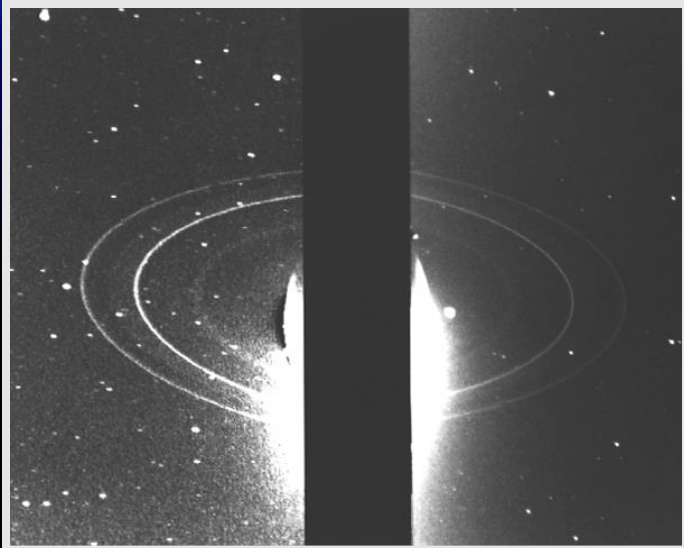
**Prstenovi Jupitera.**



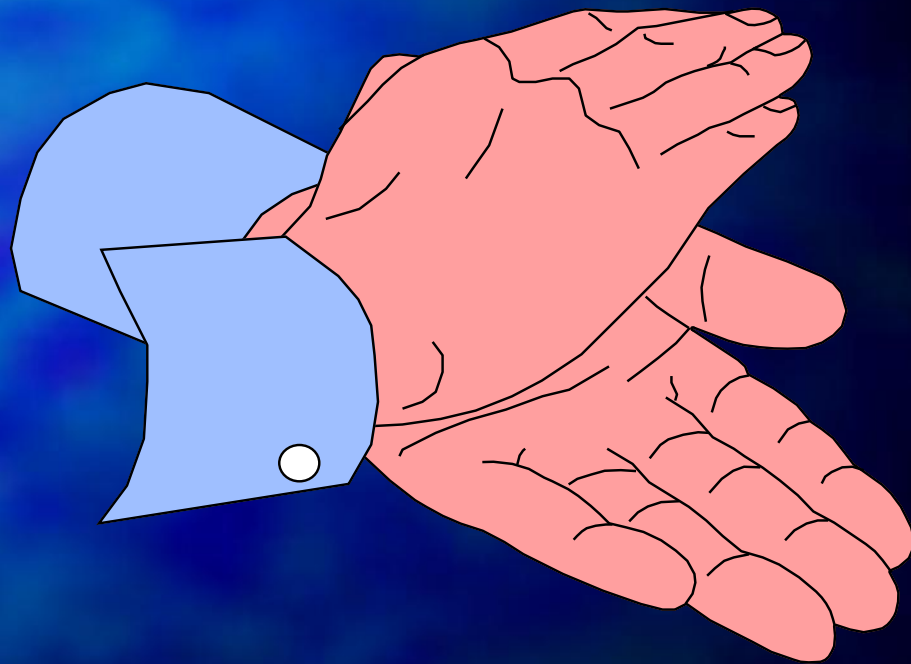
**Prstenovi Urana.**



**Prstenovi  
Neptuna.**



*To je to!*



***Хвала на пажњи!***