

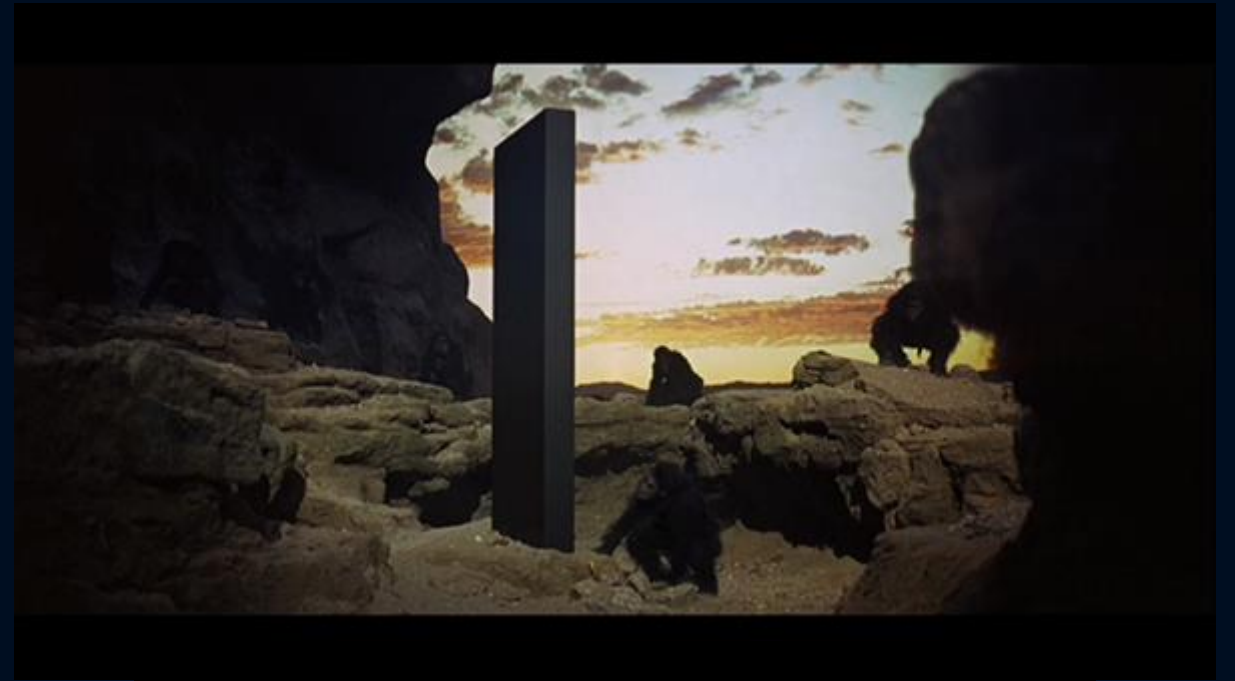
Život u svemiru: astrofizička determinisanost

Dr Milan Milošević

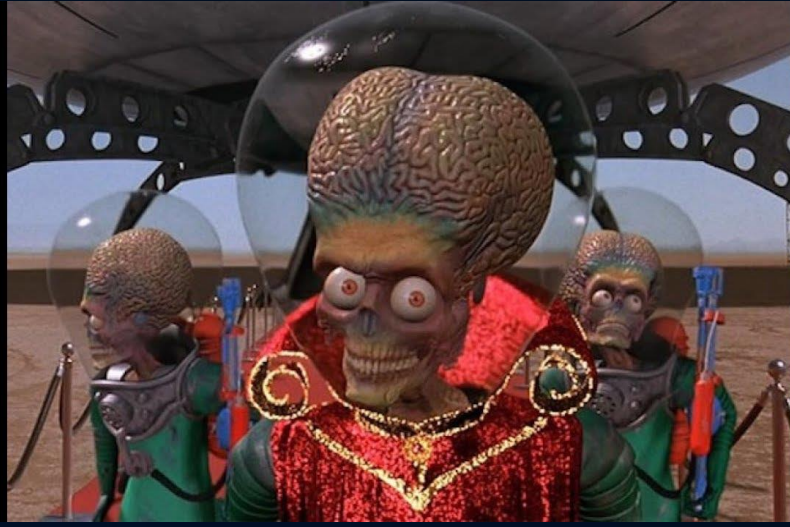
*Department za fiziku
Prirodno-matematički fakultet
Univerzitet u Nišu*

IS Petnica, 21.11.2024.

Život van Zemlje?



Život van Zemlje?



Život van Zemlje?



Space, the final frontier. These are the voyages of the starship Enterprise. Its five-year mission: to explore strange new worlds, to seek out new life and new civilizations, to boldly go where no man has gone before.

Gene Roddenberry

quodlibet

Šta je potrebno za nastanak života?

- Svemir
- Galaksija
- Zvezda
- Planeta
- ...
- Ali ne baš sve galaksije, zvezde i ne bilo koja planeta 😊

Astrofizička determinisanost života

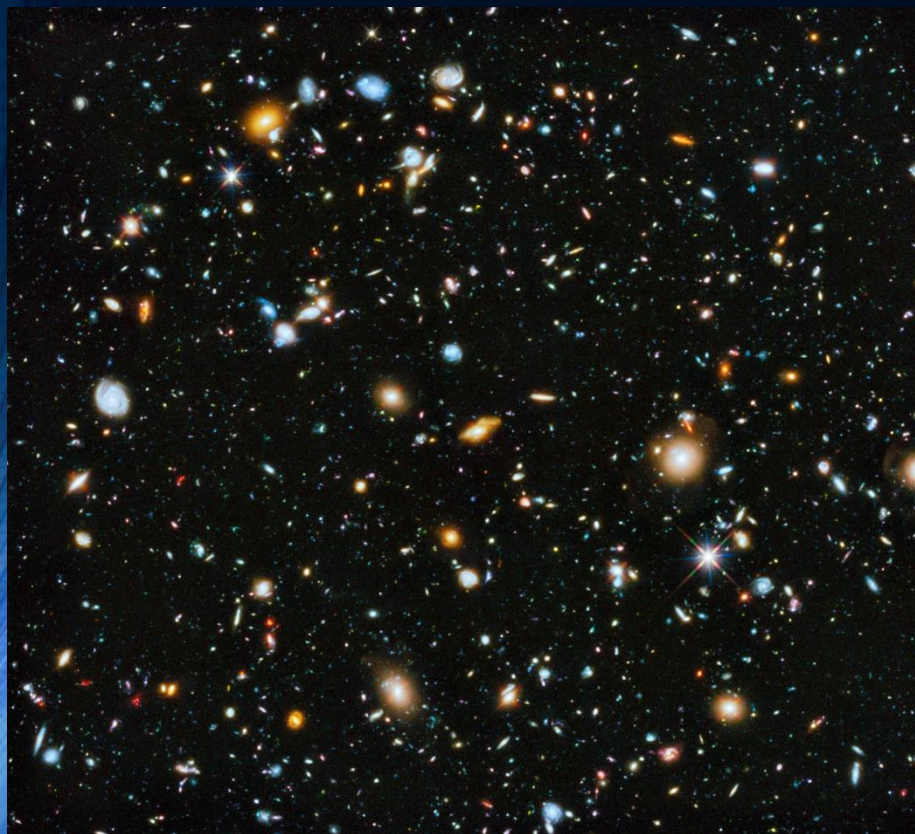
- (dovoljno vremena)
- Tečna sredina
- Hemijski elementi
- (Trajno) nastanjiva zona zvezde i galaksije
- Temperatura
- Odgovarajuće spektralna klasa i zračenje matične zvezde
- Masivna planeta (Jupiter) i sateliti (Mesec)

Bez obzira na morfološke razlike mogućih živih entiteta i različitost uslova u svemiru, logično je da postoje zajednički minimalni kriterijumi za nastanak života.

Svi uslovi moraju biti ispunjeni u isto vreme, na istom mestu!



Isto mesto...



Hubble Extreme Deep Field (XDF)



Hubble Ultra Deep Field (HUDF)

The Cosmic Calendar

The 13.8 billion year history of the universe scaled down to a single year, where the Big Bang is January 1st at midnight, and right now is midnight 1 year later

January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Known from telescopes looking back in time, physical models					Known from geologic record, fossils, genetic drift						
The Big Bang, Stars First Appear				Thin Disk of the Milky Way				The Solar System, Life	Oxygen from Photosynthesis	Eukaryotic Cells	Multicellular Life

The Month of December...

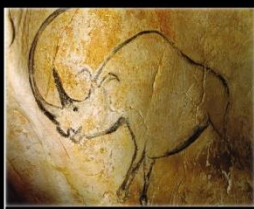
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15 Trace Fossils Only		16		17 Bones and Shells		18 Vertebrates		19 Land Plants		20 Fish with Jaws		21 Insects	
22 Amphibians		23 Reptiles		24 Pangaea Forms		25 Dinosaurs		26 Mammals		27 Birds		28 Flowers	
29 Tyrannosaurids		30 Dinosaurs Extinct, Mammals Take Over on Land and in Sea		31 The Final Day...									
				Dawn: Apes and Monkeys Split		8 PM: Humans and Chimpanzees Split		9:25: Humans First Walk Upright		10:30: Human Brain Size Begins Tripling		11:52: Modern Humans Evolve	
												11:56 to 11:59: Human Migration	

The Final Minute...

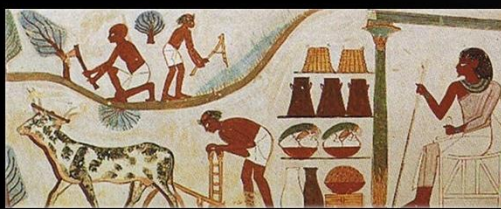
A human life only lasts for the blink of an eye on the Cosmic Calendar: $100 \text{ years} * 365 * 24 * 60 * 60 / 13,800,000,000 = 0.23 \text{ Cosmic Seconds}$

Known from artifacts, radiocarbon dating, DNA extraction from remains

Written records

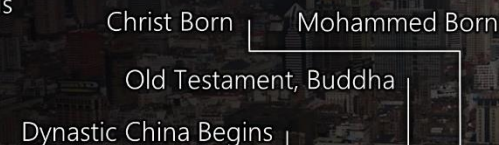


End of Last Ice Age, Sea Level 400 Feet Lower Than Now



Agriculture Leads to Permanent Settlements

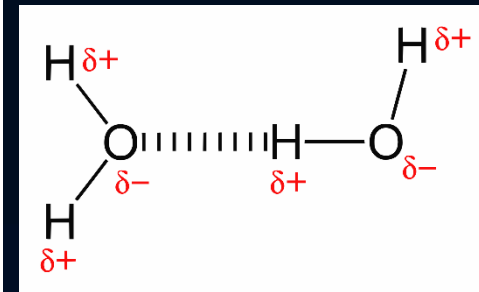
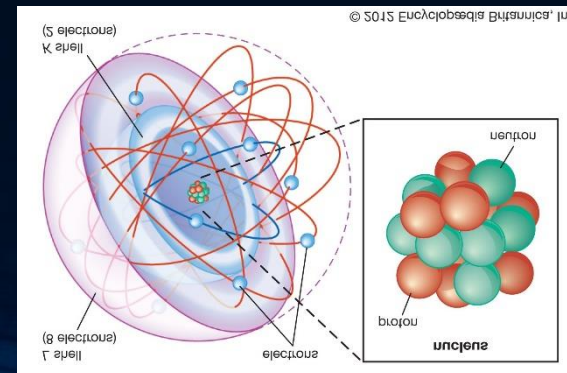
Columbus Arrives in America (1.2 Seconds Ago)



60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5 0

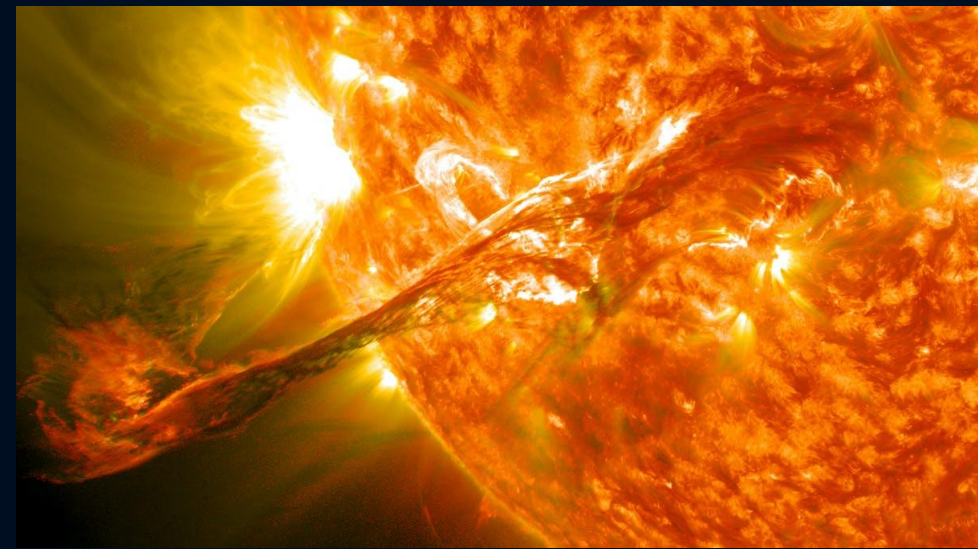
Tečna sredina

- Sinteza složenih bioloških molekula zahteva snabdevanje "sirovim materijalom" i dotok slobodne energije.
- Proces repliciranja mora da bude relativno brz (ako je **10-100 puta sporiji** od zemaljskog ne bi bilo vremena za stvaranje organizama višeg reda složenosti).
- U sistemu zasnovanom na čvrstom stanju hemijske reakcije se događaju, ali su izuzetno spore zbog slabe pokretljivosti čestica.
- Pri formiranju velikih bioloških molekula deluju **molekulske sile** čiji **domet nije veliki**.



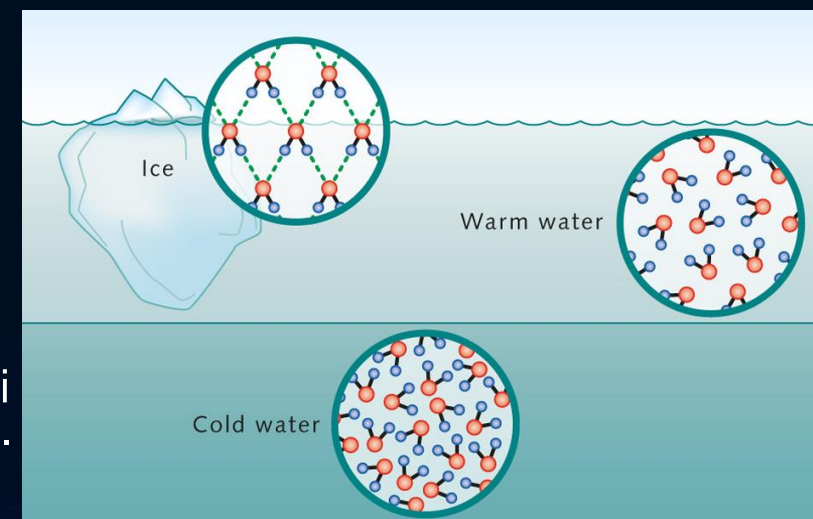
Tečna sredina

- Zato je za njihovu sintezu potrebna **visoka koncentracija** konstituenata.
- Kod razređenih gasova ona je mala, pa su reakcije sinteze retke.
- Kod gasova sa visokim pritiscima, zbog visokih temperatura, **sudari čestica** dovode do **disocijacije** "velikih" molekula.
- Sistem zasnovan na čisto gasnoj fazi, sa stanovišta života, nije prihvatljiv.
- U gasnim plazmama i u unutrašnjosti zvezda život nije moguć zbog nestabilnosti formi i visokih temperatura.



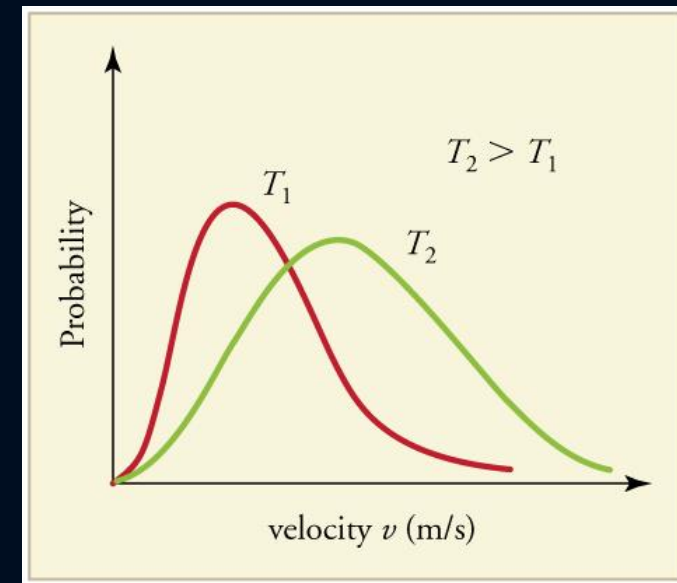
Tečna sredina

- Najpodesniji je **tečni omotač planeta**.
- On dopušta visoke koncentracije rastvorenih jedinjenja i ne ograničava pokretljivost molekula.
- U njemu mogu biti **rastvoreni jednostavniji organski molekuli**.
- U tečnosti je veća pokretljivost molekula i bolja zaštita od visokoenergetskih (npr. UV) fotona matične zvezde.
- Na Zemlji se praktično sve hemijske reakcije vezane za život odvijaju u vodi.
- Oko 70% ljudskog organizma čini voda.
- Njena značajna osobina je da je u **tečnom stanju u širokom temperaturnom intervalu**.
- Za termoregulaciju je bitno što je njen **toplotni kapacitet visok** i što joj je, pri normalnom pritisku, **visoka temperatura ključanja**.
- Dobar je (*univerzalni*) rastvarač, što je od izuzetnog značaja za formiranje života.



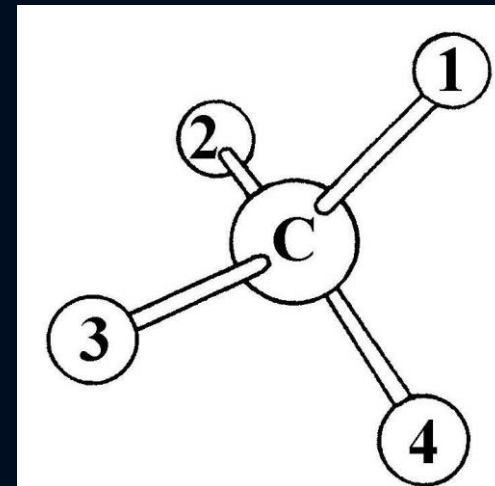
Tečna sredina

- Drugi najpogodniji tečni omotači i dobri rastvarači su:
 - amonijak, etan ili metil-alkohol.
- Oni su **tečni** u širokom temperaturskom intervalu, ali **na nižim temperaturama**, a tada su molekuli slabo pokretljivi i reakcije sinteze su teže ostvarljive.
- Voda je u svemiru od njih zastupljenija i bolji je rastvarač.
- **Amonijak** je građen od elemenata koji se često sreću u svemiru (N i H).
 - Dobar je organski rastvarač.
 - Za izgradnju života je manje podesan od vode: gradi **znatno slabije vodonične veze**, pri normalnom pritisku tečan je na niskim temperaturama (od -80 do -30 C).



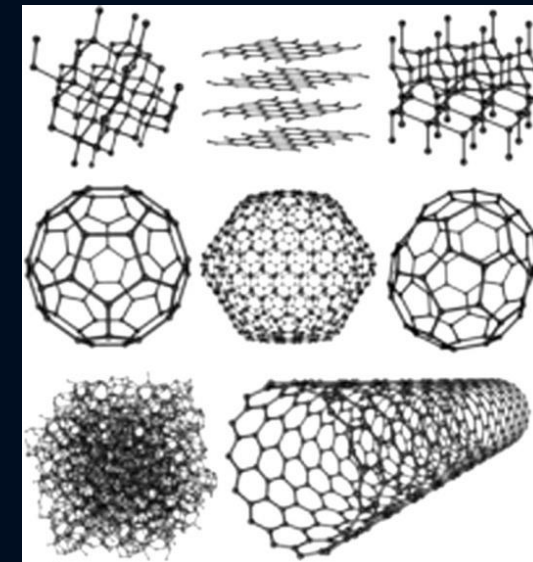
Hemijski elementi

- S obzirom na neophodnu složenost bioloških molekula, život mora da se bazira na atomima koji mogu da **grade veliki broj veza i dugačke molekulske lance**.
- Pogodni su **četvorovalentni atomi**.
- Najpogodniji vid života je na bazi **ugljenika rastvorenog u vodi**.
- Ugljenik je po zastupljenosti **na Zemlji tek na 15. mestu** (0.048%), ali je zato na **4. mestu** po rasprostranjenosti **u svemiru**.
- Na Zemlji ga ima najviše u njenoj kori i to u obliku karbonata u količinama koje su npr. stotinama puta **manje od silikata**.
- Izuzetno je aktivan u procesima stvaranja molekula i na njemu se zasniva život na našoj planeti.
- Osnovni je element za izgradnju amino-kiselina, šećera, lipida.



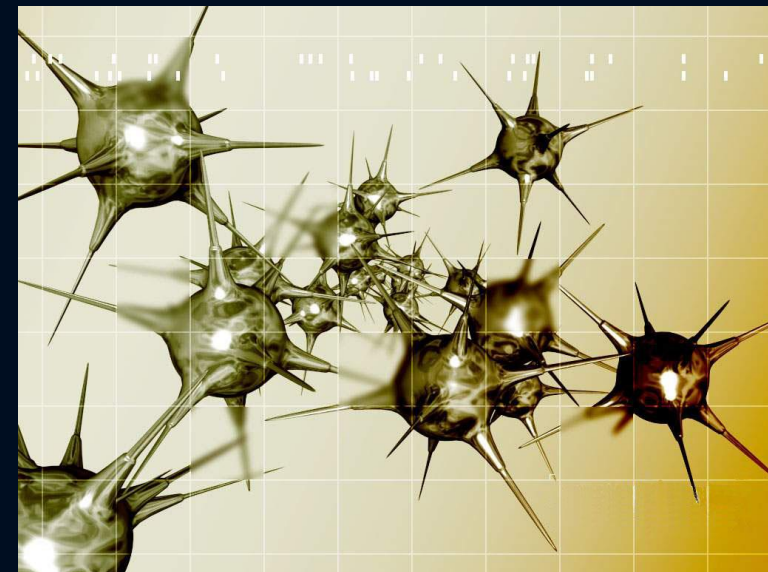
Hemijski elementi

- Lako se vezuje sa drugim atomima, a **energije tih veza su relativno male**, tako da se spojevi njegovih atoma npr. sa O, H ili samim sobom lako raskidaju i lako stvaraju prilikom sudara atoma.
- To je presudno za metaboličke procese u kojima se oslobađa energija neophodna za funkcionisanje života.
- Ugljenik je jedan od retkih elemenata koji može da **gradi proste, dvostruke ili trostruke hemijske veze** sa različitim elementima (N, H, O).
- Može da formira **dugačke polimerske molekule**, što je preduslov za stvaranje složenih sistema kao što je život.
- Trenutno se zna za preko **20 miliona organskih jedinjenja**, dok ostali elementi grade oko 200 000 (neorganskih) jedinjenja.



Hemijski elementi

- Podesan i dosta raširen je **silicijum**.
- Sa kiseonikom i nekim bazama gradi silikate.
- Većina tih jedinjenja ima komplikovane trodimenzionalne strukture (kristalne ili pseudokristalne).
- **Veze** u ovim jedinjenjima su **jake**.
- Zemljina kora sastoji se od **stena** koje su u velikoj meri sačinjene od Si i O.
- Oni su **čvrsto vezani** i u takvom stanju traju milionima godina i ne učestvuju u građenju novih molekula.
- U tom smislu, silicijumska jedinjenja nisu pogodna za prirodnu selekciju.



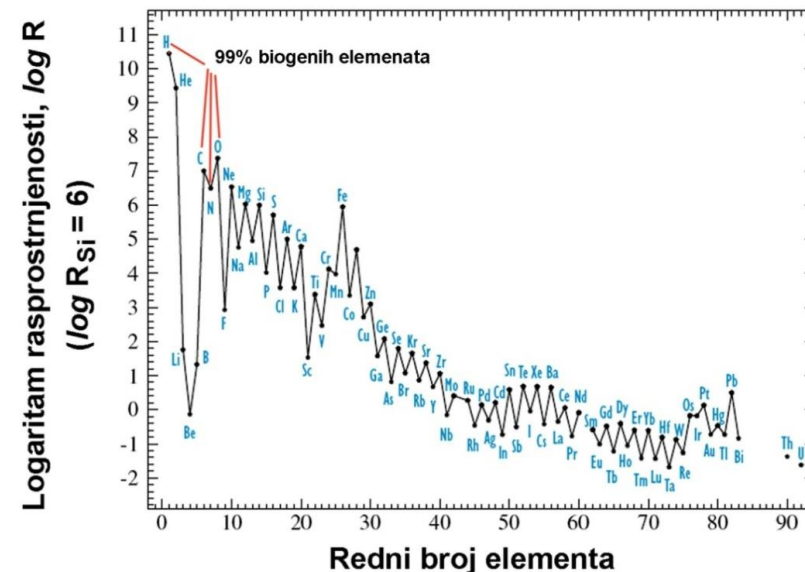
Hemijski elementi

- U sastav živih entiteta ulaze i atomi drugih elemenata
 - **biogeni elementi** (H, O, N, P, Fe, Na, Ca, Mg, S...).
- Od 92 prirodna elementa, 25 je od značaja za život na Zemlji.
- **Makroelementi** su biogeni elementi kojih ima najviše u živim organizmima (O, H, C, N, Ca, S, P, K, ...).
- **Mikroelemenata** ima u znatno manjim količinama, ali su neophodni za normalno odvijanje životnih procesa (Cu, Br, Mn, F, Fe, J, ...).
- Na našoj planeti živa materija sa **oko 99% sastoji od 4 elementa**: C, H, O i N.

Hemijski elementi

- Ovi “životodavni” elementi (C, H, O i N) spadaju u 6 najprisutnijih elemenata u svemiru
- Preostala dva su inertni gasovi He i Ne, koji sa drugim elementima reaguju samo u ekstremnim uslovima temperature i pritiska.
- Očekuje se da će **život na drugim svetovima biti izgrađen od istih elemenata** kao i na Zemlji i da se život može naći na više mesta, na kojima nema nekih štetnih supstanci i zračenja i gde je podnošljiva “životna” sredina.

Rasprostranjenost hemijskih elemenata u Sunčevom sistemu

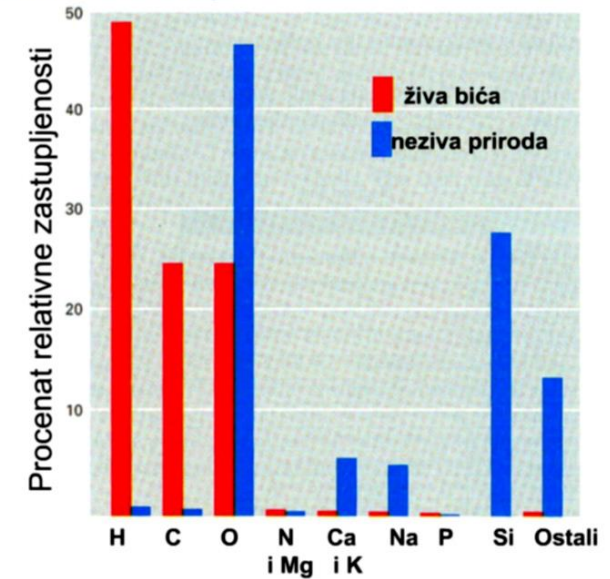


Rasprostranjenost H i He je 90% i 9% po brojnosti, a 70% i 28% po masi

Hemijski elementi

- Sa druge strane, Zemlja je uglavnom izgrađena od O, Fe, Si, Ni, Mg
 - u površinskom sloju od O, Si, Fe i Al.
- Samo jedan od ovih elemenata (O) pripada onima od kojih je u najvećoj meri izgrađen život, a koji je među najzastupljenijima u svemiru, ali i na Zemlji (po masi 46.60% u njenoj kori).
- Zastupljenost hemijskih elemenata u zemaljskom životu **više odgovara sastavu zvezda** nego sastavu Zemlje.

Zastupljenost nekih hemijskih elemenata u neživom svetu (Zemljina kora) u poređenju sa njihovim zastupljenostima u tkivima životinja



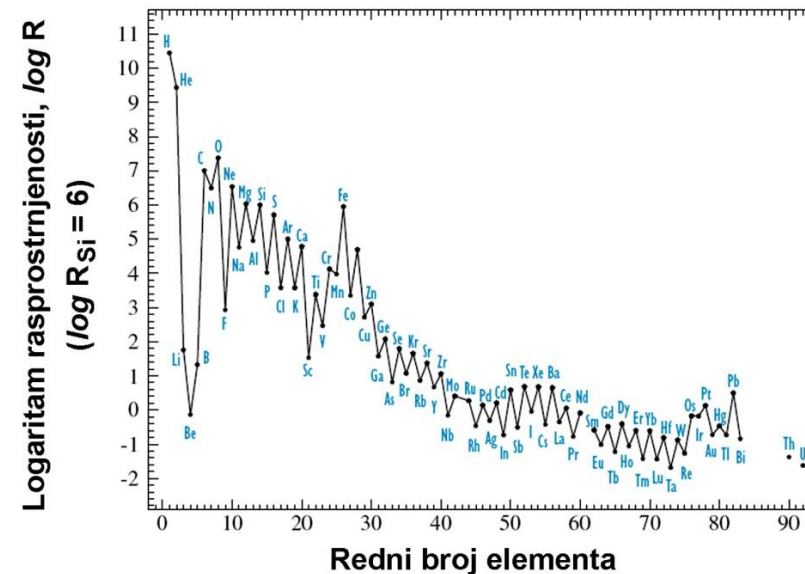
Elementi koji čine sastav			
Sunca (%)		Zemlje (%)	
H	70.68	O	48.9
He	27.43	Si	26.3
O	0.955	Al	7.7
C	0.306	Fe	4.7
Ne	0.174	Ca	3.4
Fe	0.136	Na	2.7
N	0.110	K	2.4
Si	0.070	Mg	2.0
Mg	0.065	(H	0.74)
S	0.036	(C	0.02)

Hemijski elementi

- Rasprostranjenost hemijskih elemenata (nukleotida) u svemiru utvrđena je prema podacima dobijenim:

1. na osnovu istraživanja sastava uzoraka zemaljskog, meteoritskog, lunarnog i kometskog materijala,
2. na osnovu izučavanja spektara elektromagnetnog zračenja Sunca, zvezda i međuzvezdane sredine,
3. na osnovu određivanja sadržaja nukleotida u solarnim i galaktičkim kosmičkim zracima.

Rasprostranjenost hemijskih elemenata u Sunčevom sistemu



Rasprostranjenost H i He je 90% i 9% po brojnosti, a 70% i 28% po masi

Hemijski elementi

- **Vodonikovi atomi** se spajaju sa drugim atomima tek kada se sa njima **sudare** i kako je vodonik ubedljivo najzastupljeniji u svemiru jasno je da su najveći izgledi da će se H sudariti sa H, tako da su **molekuli H₂** najzastupljeniji.
- Nakon toga slede molekuli sa O, N, C i S. Takvi su molekuli H₂O, NH₃, H₂S, CH₄. **Molekuli vode** su po zastupljenosti molekula **na petom mestu u svemiru**.
- Na zemaljskim temperaturama H, He, Ne, Ar, H₂O, NH₃, H₂S, CH₄ lako isparavaju ili su gasovi i zato se nazivaju **volatili** (lat. *leteti*).
- Si se lakše vezuje za O nego za H, a Mg, Al, Na, Ca se lako vezuju za SiO i sačinjavaju **najveći deo stena**, gde su zajedno sa Fe, Ni i Co čvrsto povezani jakim molekulskim silama i ostaju u čvrstom stanju sve do visokih temp.
- **Protosolarna maglina se 99.8% sastojala od volatila** i 0.2% od čvrstih materijala.

Hemijski elementi

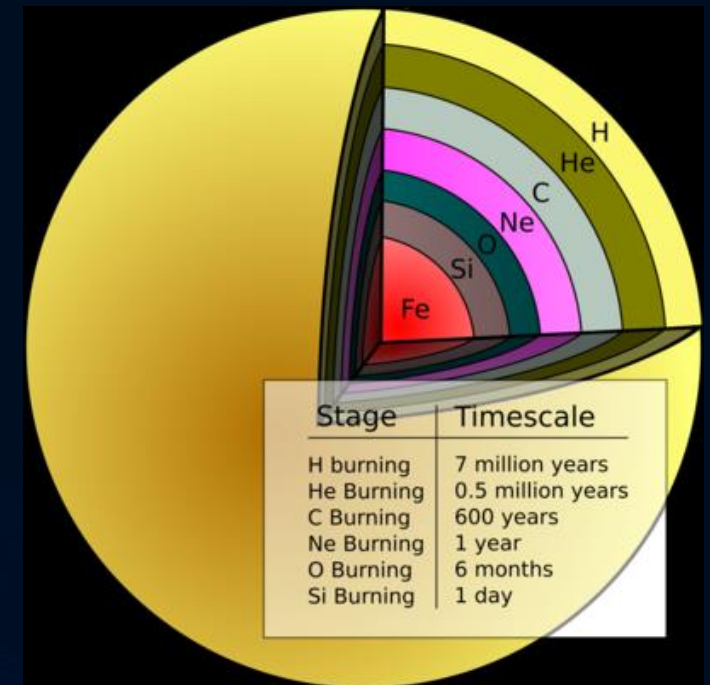
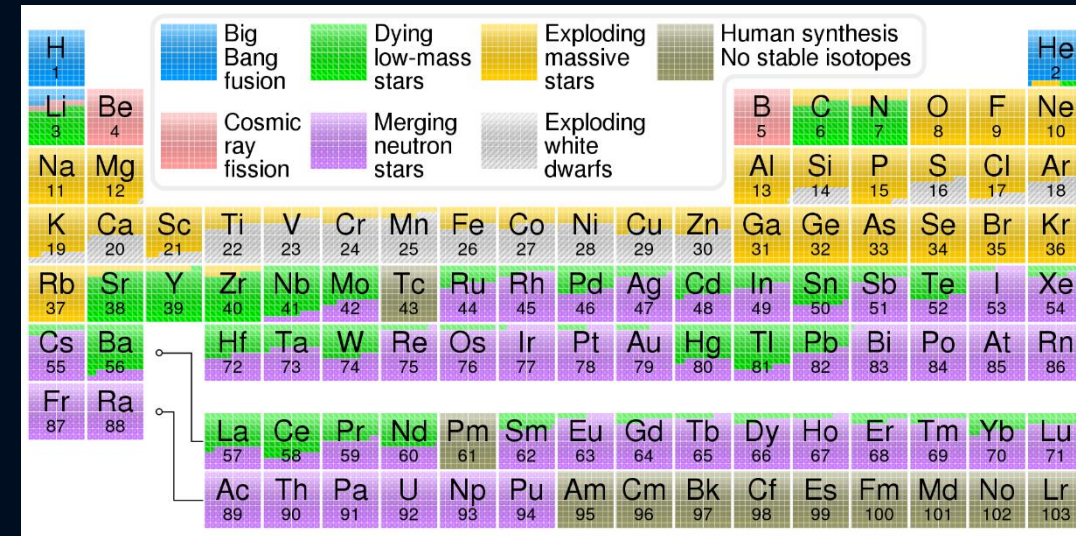
- U unutrašnjem delu Sunčevog sistema temperature su stalno visoke i zato se **volatili brzo kreću** i gravitacija ne može da ih zadrži.
- To je razlog što su **unutrašnje planete od stena i metala**, jer im nije potrebna gravitaciona sila da ih održi na okupu.
- Pošto ovih materijala ima **relativno malo** unutrašnje planete su malih dimenzija.
- U oblastima **nižih temperatura** volatili se **lakše okupljaju**, jer im je pokretljivost tada manja.
- Sa padom temperature volatili počinju da se **zamrzavaju** i u čvrstom stanju se **hemijski povezuju i privlače** (ne zavise od gravitacije).
- Zato se tela iza Marsa i mala tela sastoje od metala, stena i čvrstih volatila.
- Preko **99% organskih jedinjenja** su od C, H, N, O i S (**5 od 8 volatilnih elemenata**, a ostala tri su Ar, Ne i He, koji su inertni i ne formiraju molekule).
- **Izostanak volatila** je pouzdan znak da taj svet na sadrži život, ali obrnuto ne mora da važi (primer Venere).

Hemijski elementi

- Postojanje volatila na nekoj planeti u **sprezi je sa tečnom sredinom** na njoj.
 - Njenim isparavanjem stvara se atmosfera.
 - Bez nje bi postojeći volatili bili u čvrstom stanju, a to bi onemogućilo formiranje života.
- Interesantno je da i prisustvo **slobodnog kiseonika** u atmosferi planete može da ukaže na postojanje života.
- Slobodan kiseonik bi brzo nestao iz atmosfere, jer bi oksidisao površinu planete (kao na Marsu).
- Njegovo prisustvo u atmosferi može da ukaže da postoji neki **proces koji ga stalno oslobađa**, poput fotosinteze na Zemlji.
- Takva logika bi mogla da se primenjuje i u slučaju ekstrasolarnih planeta.
- Ono što odudara od ovakvog principa planetologije je da su do sada otkrivene planete u velikoj većini **vreli Jupiteri**, velike planete koje su uglavnom od gasovitih volatila, a blizu su matične zvezde.
- To ukazuje da su vremenom one migrirale iz spoljašnjih u unutrašnje delove planetarnih sistema.

„Teški“ hemijski elementi

- Život mora da se bazira na složenim molekulima, osim osnovnih elementa u njihov sastav moraju da uđu i teži elementi.
- Atomi “teži” od gvožđa javljaju se kod “recikliranih” zvezda (u Mlečnom putu oko galaktičkog diska).
- Teži elementi mogu poticati od eksplozija supernovih zvezda (r-procesi) i oni se ugrađuju u oblake gasa od kojih će se tek formirati zvezde.
- Prisustvo težih elemenata u živim organizmima sužava broj nastanjenih svetova, jer se ovi elementi ne nalaze baš u svakoj zvezdi.

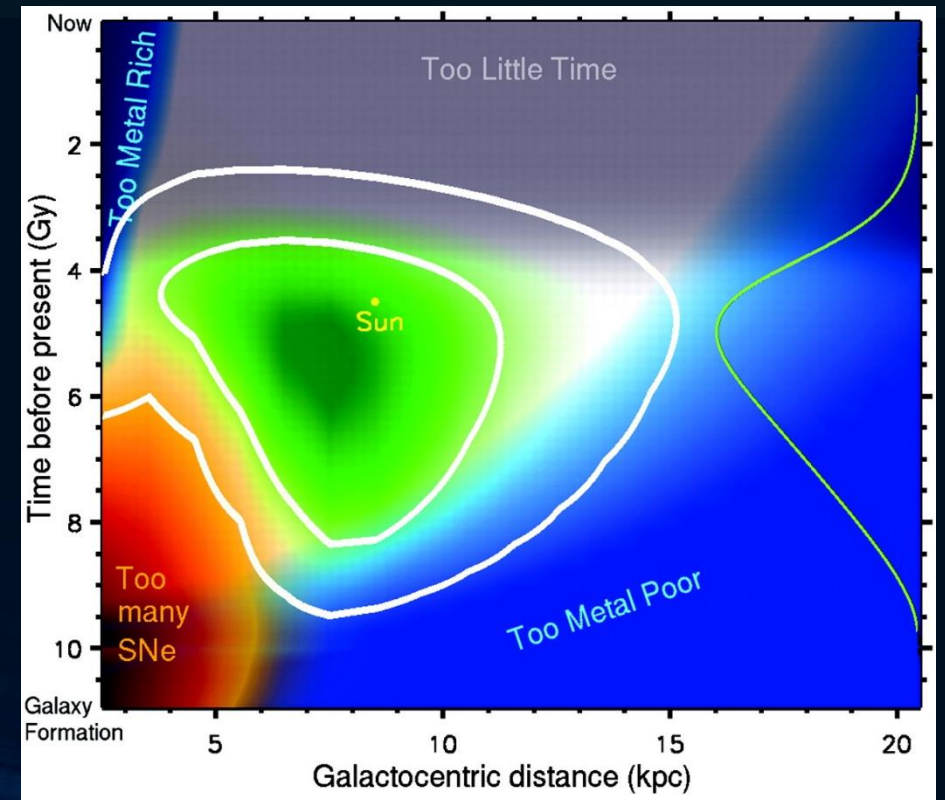
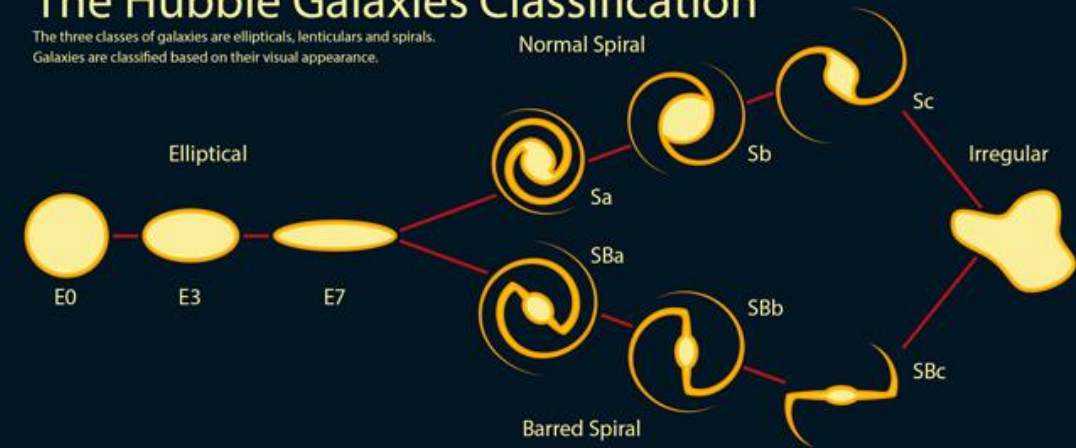


Hemijski elementi

- Spiralne galaksije su pogodne za nastanak života zbog visoke metaličnosti mnoštva njihovih Zvezda
- Eliptične i patuljaste galaksije su niske metaličnosti, a pored toga nema ni radioaktivnih r-elemenata.
- U spiralnim diskovima postoji kontinuirano formiranje zvezda, što omogućuje nastanak Populacije I (mlade zvezde visoke metaličnosti).

The Hubble Galaxies Classification

The three classes of galaxies are ellipticals, lenticulars and spirals. Galaxies are classified based on their visual appearance.



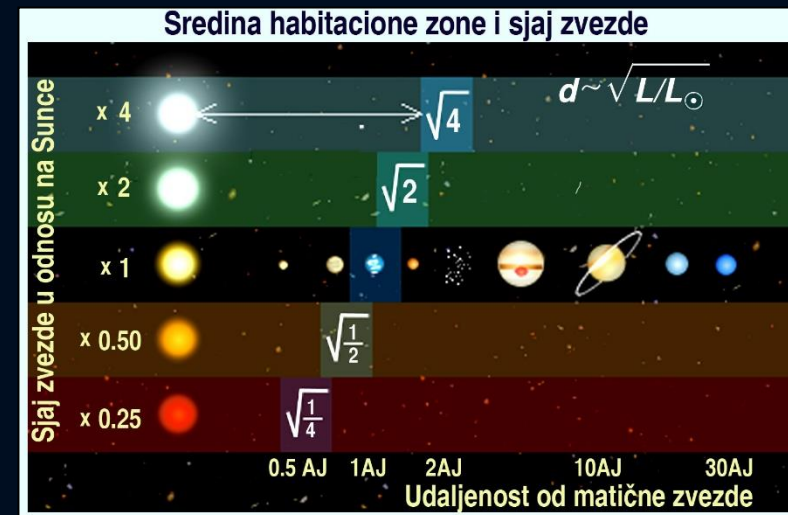
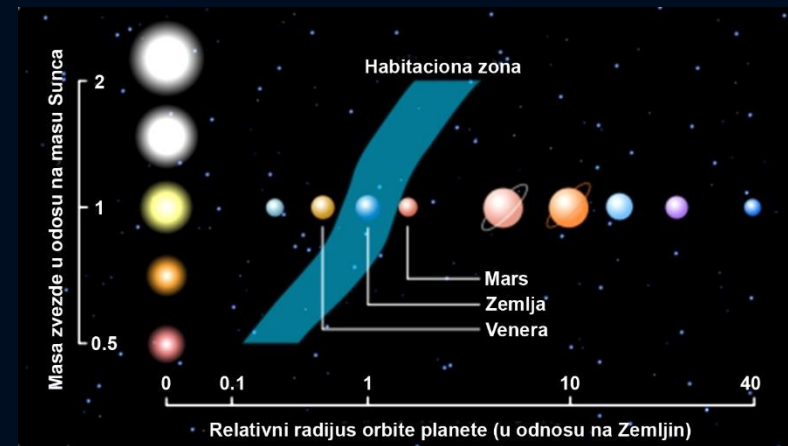
Nastanjiva zona zvezde

- Habitaciona zona, ili ekosfera
 - „Zona Zlatokose“
- Habitabilnost neke planete predstavlja mogućnost razvoja života na toj planeti.
- Habitaciona zona je prostor oko zvezde u kome su uslovi pogodni za nastanak života na bazi ugljenika.
- Određena je temperaturom, koja treba da omogući **postojanje tečnog omotača**.
- Ovaj kriterijum habitabilnosti nije sasvim pouzdan, jer npr. **efekt staklene bašte može da utiče da uslovi na nekoj planeti budu habitabilni iako se ta planeta nalazi izvan habitacione zone zvezde**.
- Moguća je i situacija da zbog **plimskih trenja ili unutrašnje radioaktivnosti** temperature budu takve da omogućavaju postojanje tečnog omotača.
 - Takva situacija je npr. na satelitima masivnih planeta izvan habitacione zone (npr. Jupiterov satelit Evrope).



Nastanjiva zona zvezde

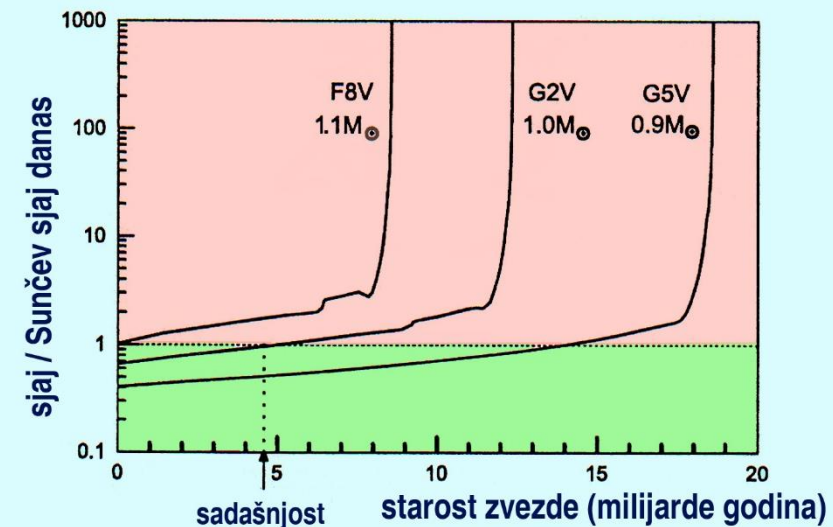
- Planeta može biti nehabitabilna iako je u habitacionoj zoni, ukoliko **su fizički i hemijski uslovi** na njoj takvi da ne odgovaraju potrebama živih organizama.
- Ta odstupanja mogu biti toliko velika da onemogućavaju život i **ne postoji mogućnost** adaptacije organizama na njih.
- Nastanjive zone za toplije zvezde su dalje od zvezde, ali su i šire, jer su toplije zvezde sjajnije i luminoznije.



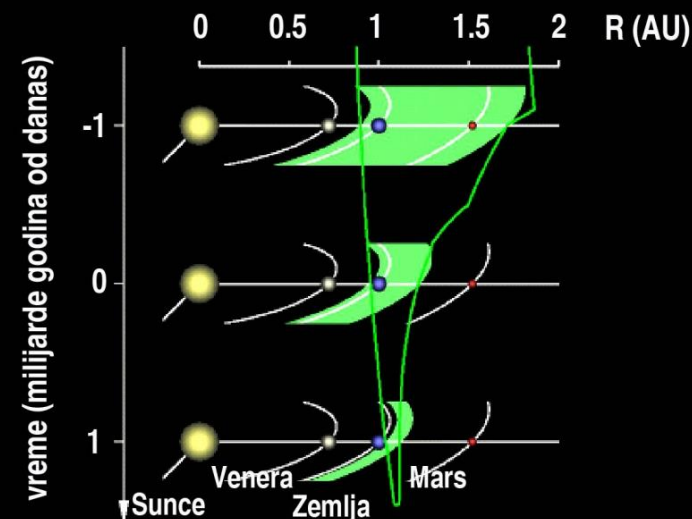
Trajno nastanjiva zona zvezde

- Starenjem zvezde postaju sjajnije i toplije, pa se habitaciona zona odmiče od njih.
- U tom smislu definiše se trajno nastanjiva zona – oblast u kojoj na planeti sličnoj Zemlji temp. može da **podrži tečnu vodu milijardu godina**, što je vreme za koje evolucijom može da se formira složeniji oblik života.
- Trajno nastanjiva zona je uža od nastanjive zone.
- Njeno postojanje smanjuje broj planeta oko zvezde koje mogu da podrže punu evoluciju života.

Evolicija sjaja zvezda Sunčevog tipa sa glavnog niza

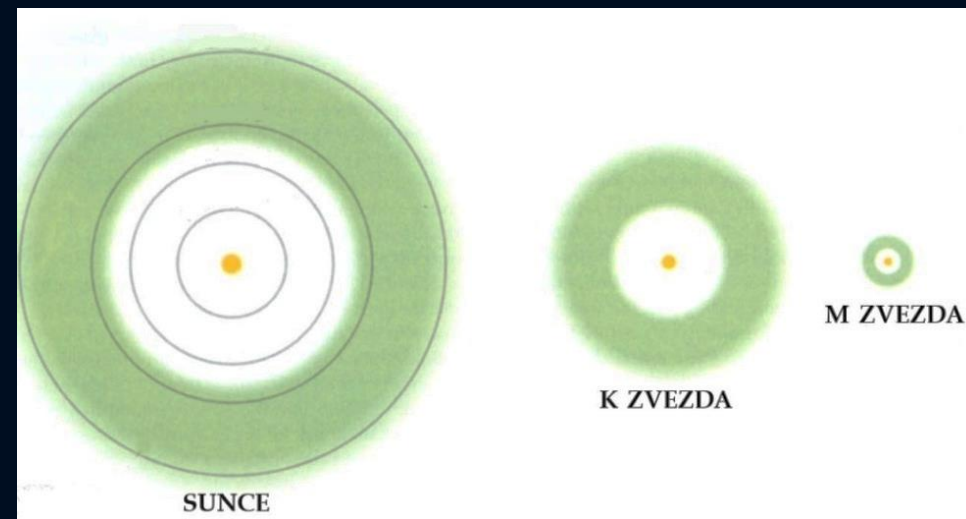


Promena širine habitacione zone Sunca sa vremenom



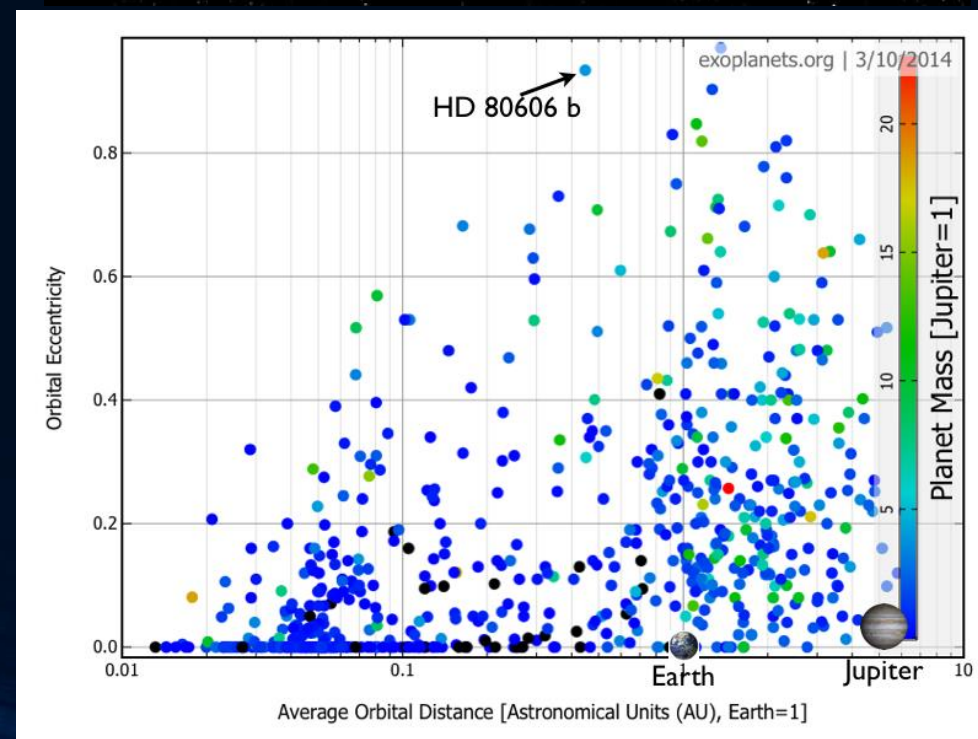
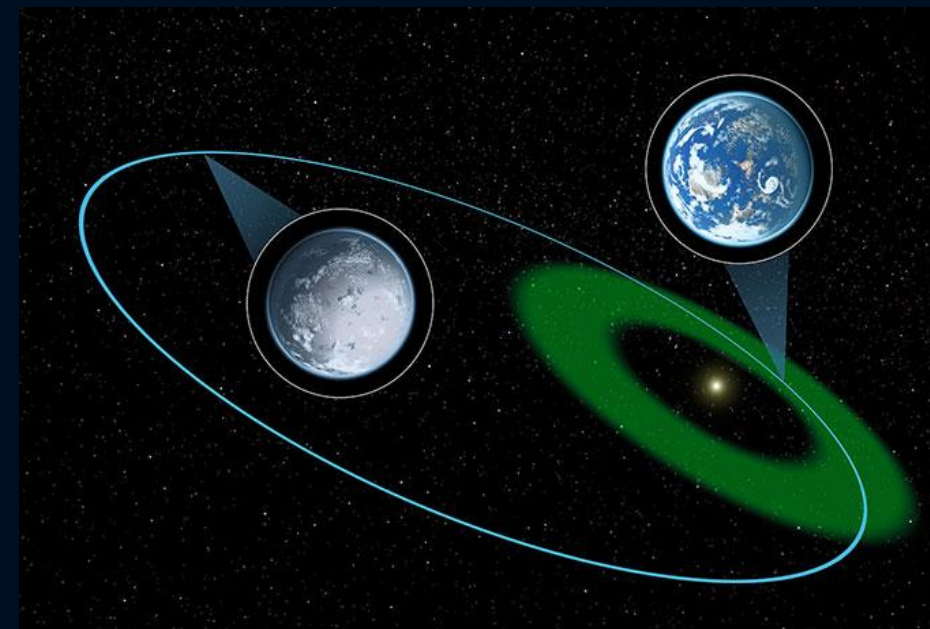
Nastanjiva zona zvezde

- Habitaciona zona je oblast u kojoj na planeti može da se održi voda u tečnom stanju.
- Ako je **planeta bliže zvezdi** od unutrašnje granice zone, zbog visoke temp. gubi vodu, a u atmosferi je mnogo CO₂, koji **efektom staklene bašte** još više podiže temp.
- Spoljašnji obod zone određen je granicom na kojoj dolazi do **mržnjenja** vode.
- Kod **hladnijih zvezda** habitaciona zona se **sporo menja**, pa ima dosta vremena da se na planetama u njoj formira čak inteligentan oblik života.
 - Problem je – planete su blizu zvezde, zbog **velikih gravitacionih plima**, imaju **“zakucanu”** rotaciju, tako da su prema zvezdi okrenute uvek istom stranom.
 - Termodinamika takve planete nije pogodna za nastanak života.



Nastanjiva zona zvezde

- Među brojnim ekstrasolarnim planetama otkrivene su i one koje samo delimično prolaze kroz habitabilnu zonu.
- To se smatra nedovoljnim za nastanak i opstanak života, jer su uslovi na planeti isuviše nestabilni.
- Oko hladnijih zvezda vek nastanjivosti može biti jako dug.
- Npr. Gliese 581d koji ima ogroman vek nastanjivosti između 42,4 i 54,7 milijardi godina.
- Ta bi planeta mogla biti topla i ugodna 10 puta duže nego što postoji naš Sunčev sistem.

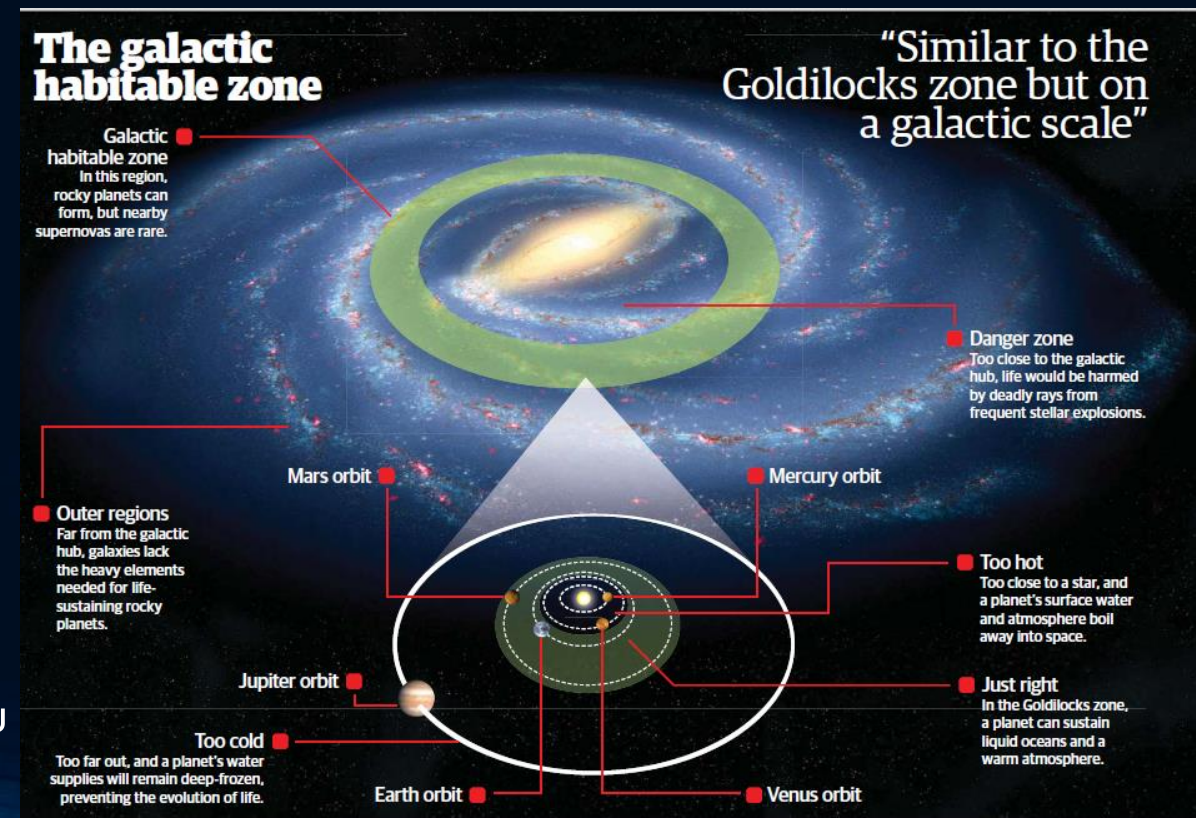


Nastanjiva zona zvezde

- Oblast oko zvezde je **kvazi-habitabilna**, ako se njene hemijske i fizičke osobine poklapaju sa potrebama živih organizama.
 - Ovde su moguća odstupanja, ako ona ne utiču negativno na razvoj organizma.
 - Za opstanak života u ovakvoj oblasti potrebna je sposobnost prilagođavanja organizama ovakvim uslovima.
- Oblast je **proto-habitabilna**, ako se njene hemijske i fizičke osobine delimično poklapaju sa potrebama živih organizama.
 - Odstupanja su tako velika, da ona negativno utiču na razvoj organizma.
 - Da bi organizam opstao u ovakvoj sredini potrebna je izuzetno visoka sposobnost prilagođavanja.
- Taj uslov prilagodljivosti organizama nepovoljnim uslovima relativizuje kriterijum habitacione zone zvezde.

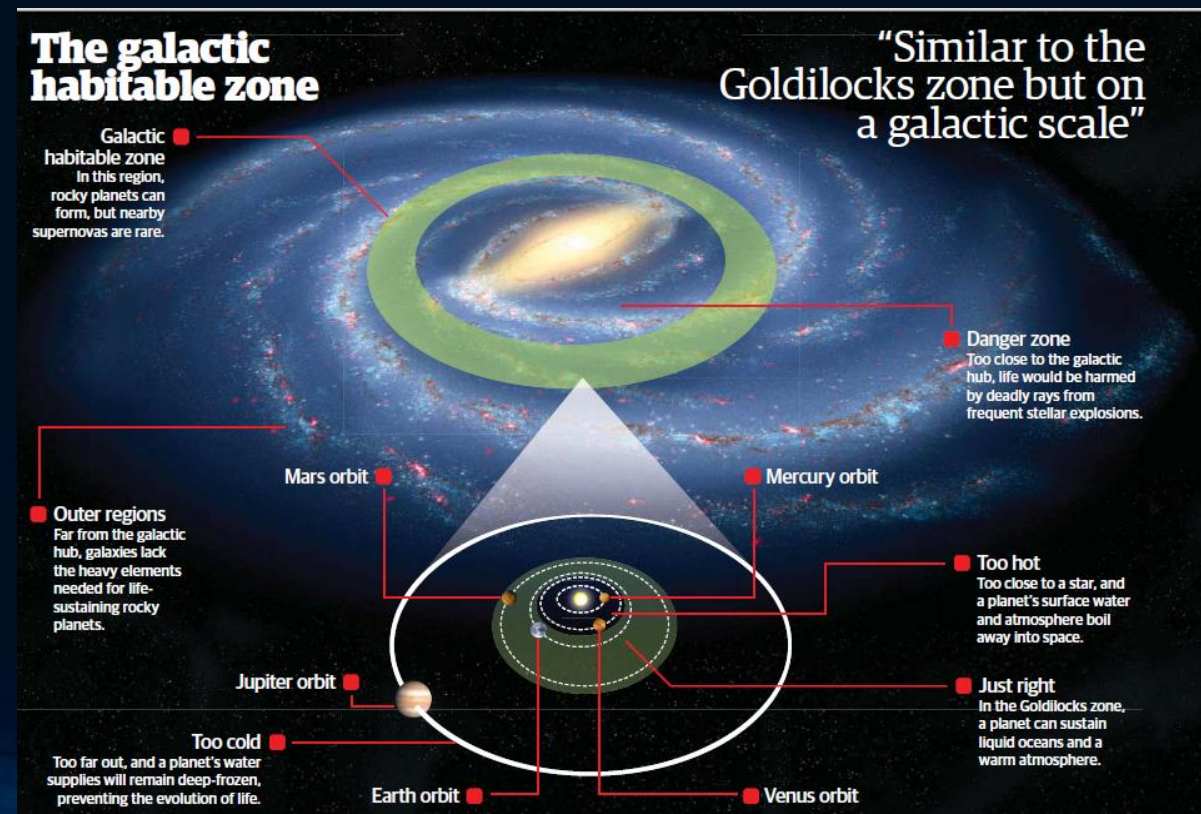
Galaktička habitaciona zona

- Od 2001. godine – nastanjiva zona galaksije (GHZ)
- Njenu **spoljašnju granicu** određuje gradijent metaličnosti.
- **Unutrašnja granica** određena je dinamičkom stabilnošću, kao i učestanošću supernovih i γ -bleskova, koji su "ubitačni" po život.
- Oko **galaktičkog jezgra** veliki je broj zvezda u kojima su u fuziji stvoreni teži elementi.
 - Tamo su češće eksplozije supernovih.
 - Udarni talasi nastali prilikom njihovih eksplozija šire se, noseći brze čestice i teže elemente.
 - U sudarima sa česticama gasa i prašine u džinovskim oblacima nastaju još teži elementi.
 - Zato u zvezdama druge i novijih generacija koje su nastale u ovim oblacima ima težih elemenata.



Galaktička habitaciona zona

- **Blizu Sunca** (između središta i ruba galaktičkog diska) mnoge novonastale zvezde poseduju diskove gasa i prašine iz kojih se formiraju planete bogate teškim elementima.
- **Prema rubu galaksije** smanjuje se broj supernovih, pa je i težih elemenata manje.
 - Zbog neophodne metaličnosti, trajno nastanjiva zona zvezde mora da se nađe u GHZ.
- Zvezde u **halou** su stare, pa zvezde nastale nešto pre njih nisu stigle da "proizvedu" teže elemente i da eksplodiraju kao supernove.
 - Zvezda u halou ima samo 3% od količine gvožđa u Suncu.

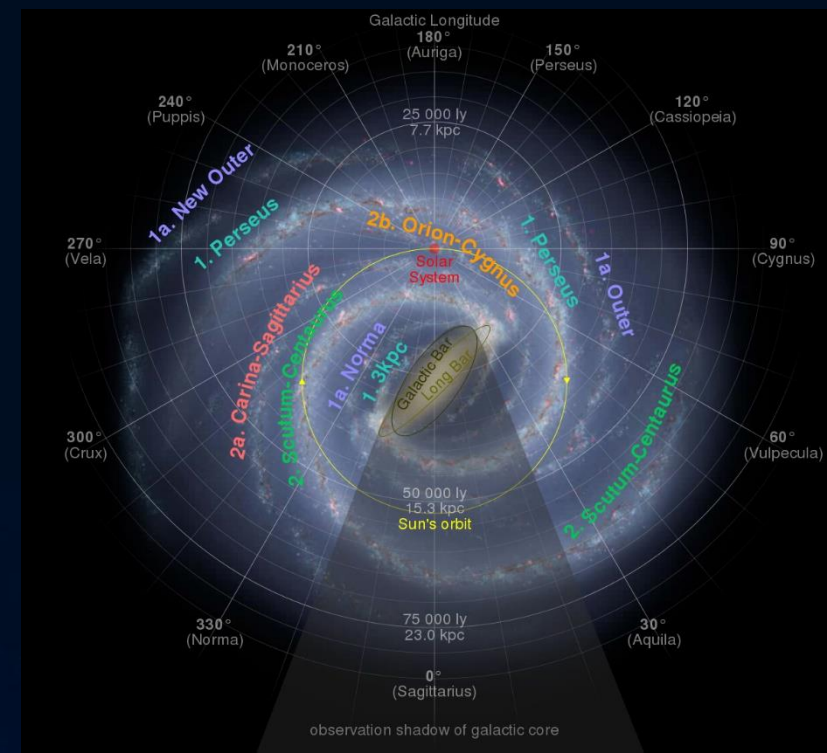
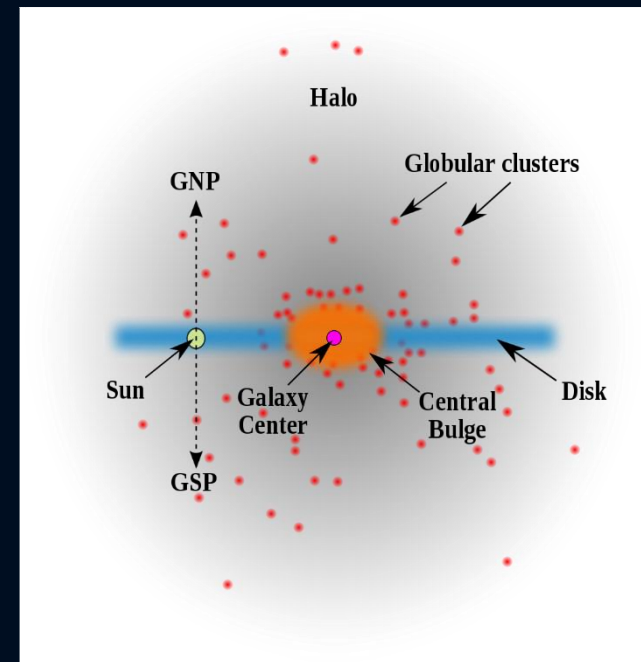


Galaktička habitaciona zona

- Da bi se život formirao u planetarnom sistemu, matična zvezda treba dugo da ostane u GHZ, što znači da treba da ima **kružnu putanju oko središta galaksije** (u slučaju Mlečnog puta radijus njene putanje treba da je 7 - 9 kpc).
- Tačne kvantitativne granice GHZ naše Galaksije **nisu još određene**.
- Nije poznato ni koliki deo zvezdane populacije Mlečnog puta leži u GHZ; procene sugerišu da ih je oko 10-20%, dok neki autori tvrde da ih je samo 5%.
- Smatra se da se u GHZ Mlečnog puta nalazi 20-40 milijardi zvezda.

Galaktička habitaciona zona

- Život ne može nastati oko zvezda u blizini jezgara galaksija
- U blizini jezgara galaksija je velika koncentracija zvezda (kod Mlečnog puta u središtu je milion zvezda u kubnom parseku, a na mestu Sunca je 1 zvezda u 8 kubnih parseka).
- U blizini galaktičkog jezgra intenzitet svih oblika zračenja (čestičnog i elektromagnetnog) je "ubitačan", jer ono razbija sve makromolekule.



Galaktička habitaciona zona

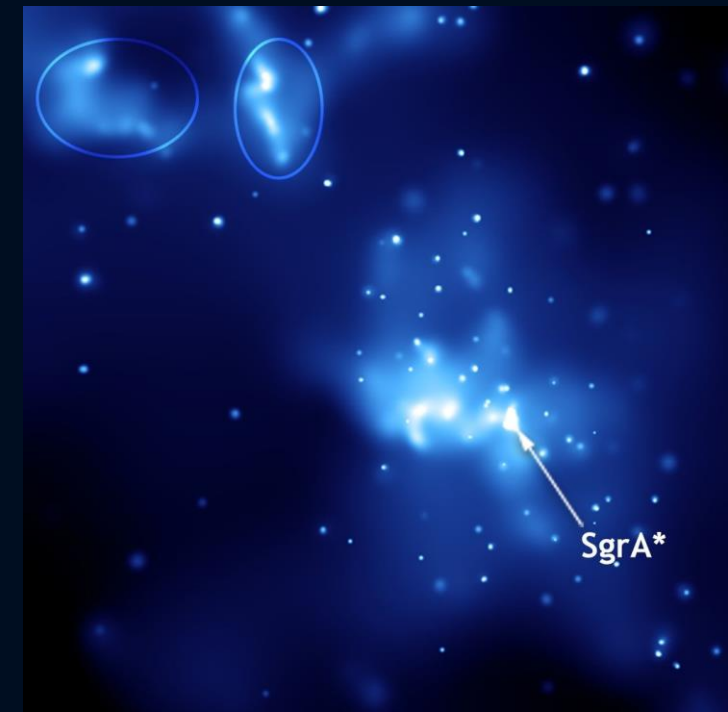
- Što je manja koncentracija zvezda (što je oblast dalja od galaktičkog centra), to su gravitacione perturbacije planetarnih sistema slabije, pa je i manja mogućnost za katastrofalne udare tela u planete.
- Tamo su češće eksplozije supernovih (u Galaksiji se danas događaju 1-2 u veku).
- Ukoliko bi se desila na udaljenosti od 30 sg od Zemlje njeno korpuskularno i EM zračenje moglo bi da uništi život.
 - γ zračenje supernove ne bi uništilo život na Zemlji, jer ga od tog zračenja štiti atmosfera, ali bi disosovali molekuli azota u atmosferi.
 - Atomi azota bi se vezivali za kiseonik, a azotoksid bi pospešio razaranje ozonskog sloja.
 - To bi omogućilo prolazak ubitačnog UV zračenja, što bi dovelo do izumiranja života.

Galaktička habitaciona zona

- Nema pouzdanih dokaza da su u istoriji Zemlje supernove dovodile do masovnih ekstinkcija, ali su možda usporile nastanak inteligentnog života.
- Istraživanja pokazuju da unutar oblasti od 60 sg od nas **nema** zvezde koja će u **narednih milion godina** eksplodirati kao supernova.
- Gama bleskovi su džinovske eksplozije zvezda pri kojima se za nekoliko sekundi izbacuje više energije nego što Sunce emituje za ceo svoj "život".
- Njihovo zračenje bi sterilisalo sve planete koje bi se našle na putu.
- Danas se oni u Galaksiji dešavaju jednom u 100 miliona godina ali su u ranijim fazama bili češći.

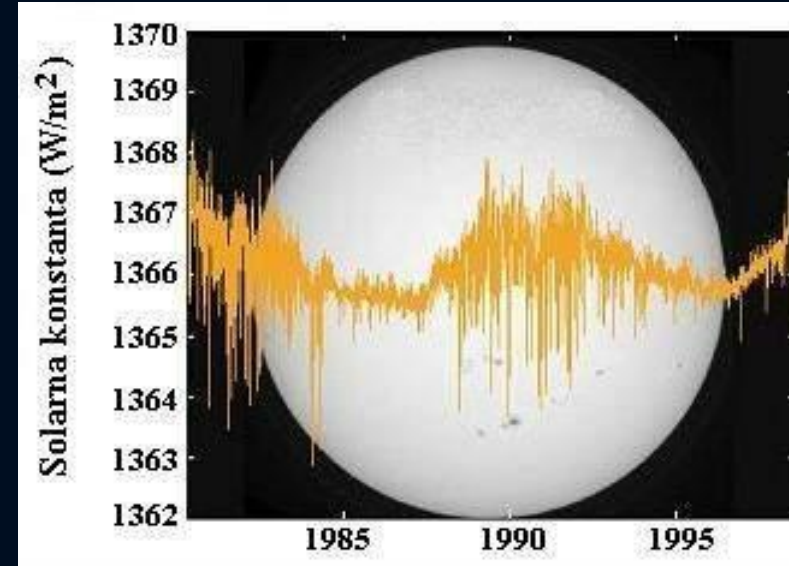
Galaktička habitaciona zona

- U središtu naše Galaksije, po svemu sudeći, nalazi se supermasivna crna rupa (SMBH), čija je masa, kako se procenjuje, 3,6 miliona puta veća od mase Sunca.
- Apsurdno je očekivati da bilo šta može da živi i pored mnogo manje, a kamoli SMBH.
- Crna rupa koja slučajno zaluta u planetarni sistem može da proguta sve planete i život na njima.
- Prema nekim procenama oko milion crnih rupa "luta" Galaksijom.

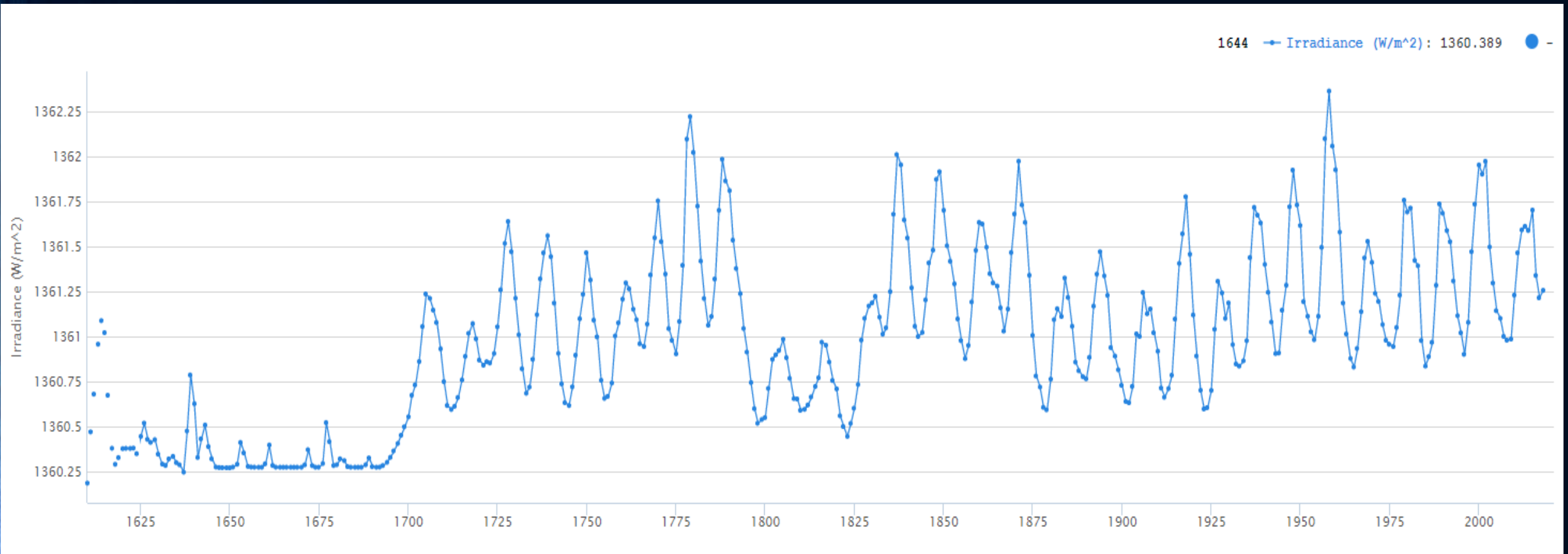


Zračenje matične zvezde

- Mora da omogući dovoljnu pokretljivost čestica i odvijanje hemijskih reakcija
- Za nastanak i opstanak života **zračenje** mora da bude **stabilno** u dužem periodu (po više stotina miliona godina).
- Oko promenljivih zvezda **ne može** se očekivati život.
- U slučaju Sunca, **solarna konstanta** ima varijacije od svega **0,1%**. Sunčeva aktivnost ne utiče bitno na nivo energije koja dospeva do nas.



Solarna konstanta na 1 AU



Zračenje matične zvezde

- Planeta ne sme da bude suviše blizu zvezde, ne samo zbog pregrevanja.

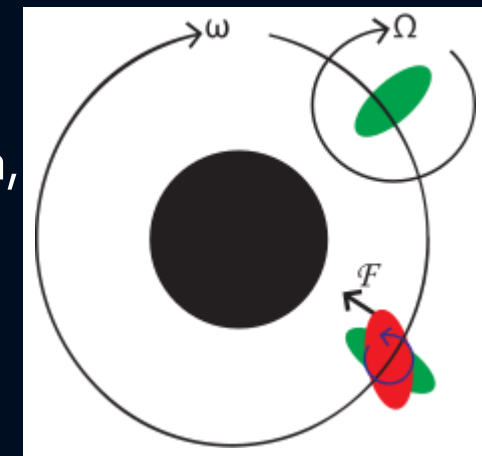
- Zbog **plimskih talasa**, rotacija planete bi vremenom postala **sinhronizovana**, što dovodi do osvetljavanja i zagrevanja samo jedne strane planete, dok je druga strana planete stalno okrenuta prema hladnom kosmosu.

$$t_{lock} \approx \frac{\omega a^6 I Q}{3 G M^2 k_2 R^5}$$

- ω – početna ugaona brzina, a – velika poluosa, I – moment inercije tela, G – gravitaciona konstanta, M – masa centralnog tela (zvezde), Q – disipaciona funkcija, k_2 - Lovov broj.

- Q i k_2 - najčešće nisu poznati, osim za Mesec ($\frac{k_2}{q} \approx 0,0011$)

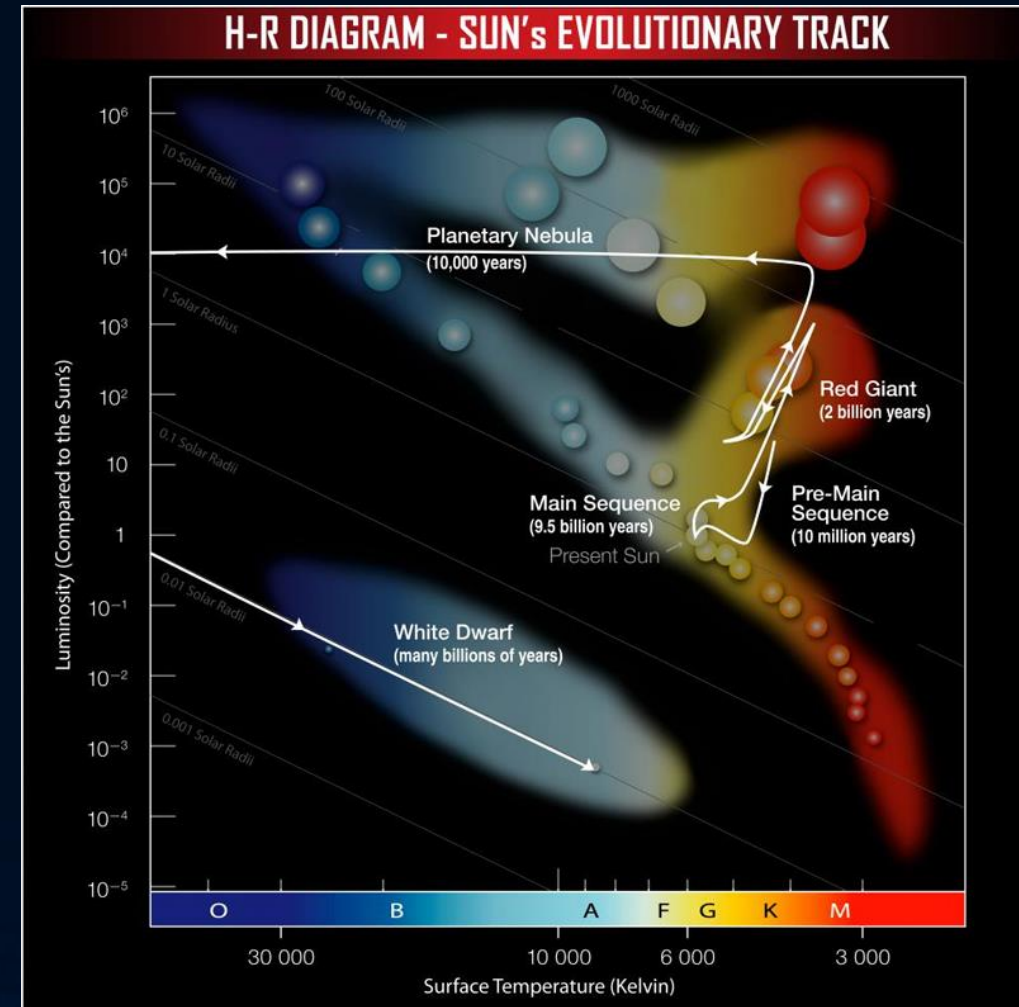
- Za grube procene $Q \approx 100$ i $k_2 \approx \frac{1,5}{1 + \frac{19\mu}{2\rho g R}}$



Za $\Omega > \omega$

Spektralna klasa zvezde

- Život može da nastane samo oko zvezda određenih klasa
- Za evoluciju živih organizama od najprostijih do najsloženijih potrebni su **ogromni vremenski intervali** (statistički karakter mutacija i prirodne selekcije).
- Za formiranje viših oblika života potrebno je da matična zvezda što duže vremena provede u **stabilnoj fazi evolucije**.
- Tada se njena luminoznost ne menja, što omogućuje dugotrajno ujednačene uslove za nastanak i razvoj života na planeti optimalno udaljenoj od zvezde.



Spektralna klasa zvezde

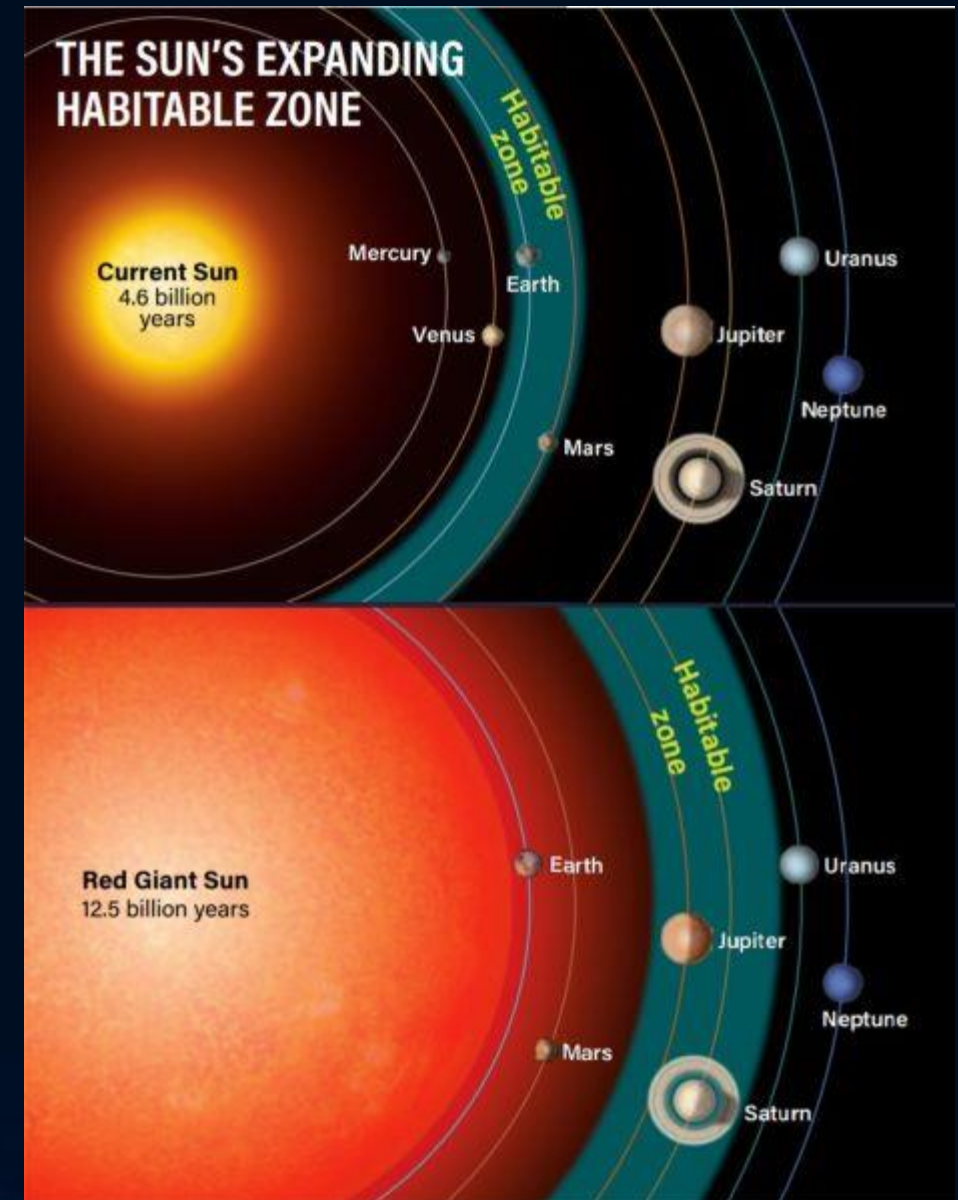
- Vreme koje zvezda provede u stabilnoj fazi dato je izrazom:

$$t_{MS} = 10^{10} \left(\frac{M_{\odot}}{M} \right)^3$$

- M_{\odot} je masa Sunca, M – masa razmatrane zvezde
- **Masivnija zvezda brže troši fuziono gorivo** i životni vek u stabilnoj fazi joj je kraći (za $M = 1,4M_{\odot}$ je t_{MS} oko 3,6 milijardi, a za $M = 10M_{\odot}$ svega 100 miliona godina).
- Sunce je staro nešto manje od 5 milijardi godina, a u stabilnoj fazi biće još najmanje toliko.
- Zemljina kora je očvrsla pre 3.9 milijardi godina.
- Po svemu sudeći život na Zemlji nastao je pre 3.85 milijardi godina (starost sedimentne stene klinopiraksen na Grenlandu – u njoj je bilo života).
- Život se na Zemlji formirao dosta brzo.

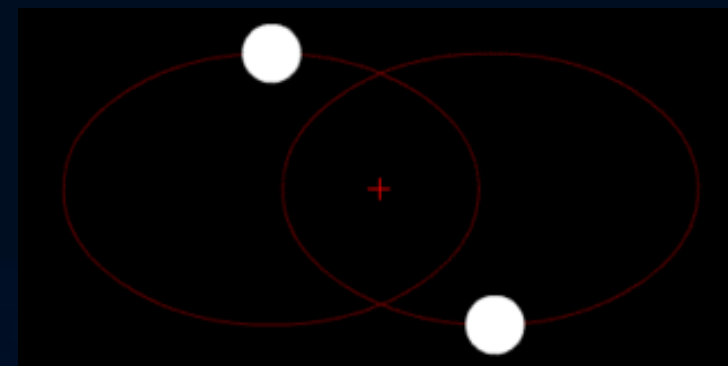
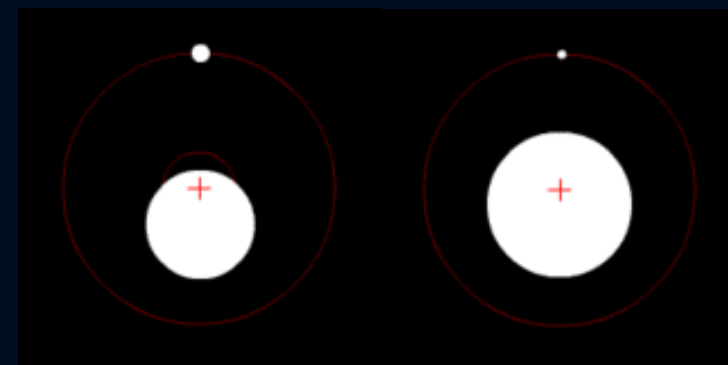
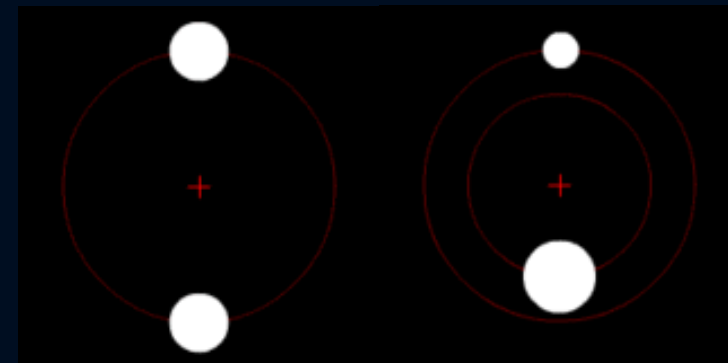
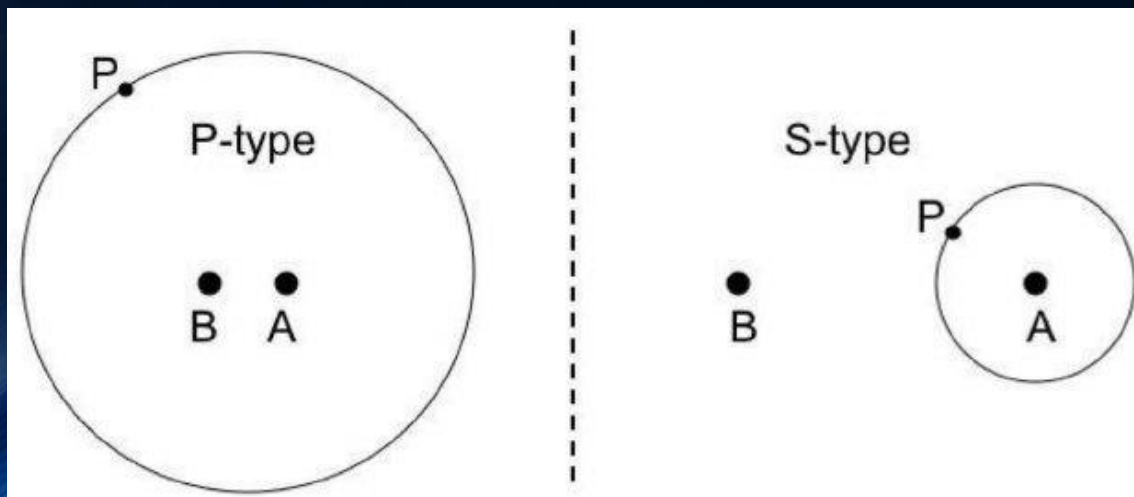
Spektralna klasa zvezde

- Razvijeniji oblik života moguć je samo oko „starijih“ mladih zvezda I populacije (čija je spektralna klasa starija od Fo).
- Oko zvezda prve generacije (subpatuljci) ne treba očekivati život, jer težih elemenata na njima ima vrlo malo.
- Faza crvenog džina – kraj mogućeg (postojećeg) života u planetarnom sistemu



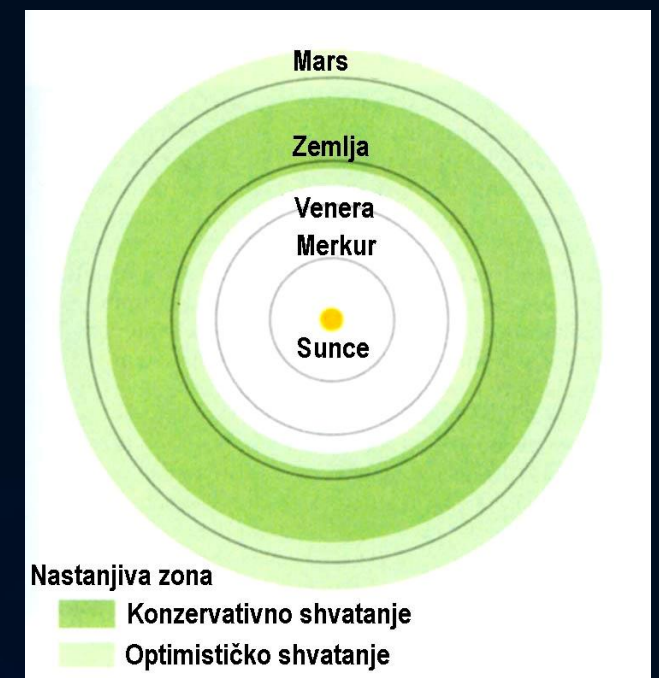
Dvojne zvezde?

- Život teško da može da nastane na planetama oko tesnih dvojnih sistema zvezda
- U planetarnom sistemu oko dvojnih zvezda, čak i ako je stabilan, uslovi bi se drastično menjali, što se nepovoljno odražava na moguću "biohemiju".



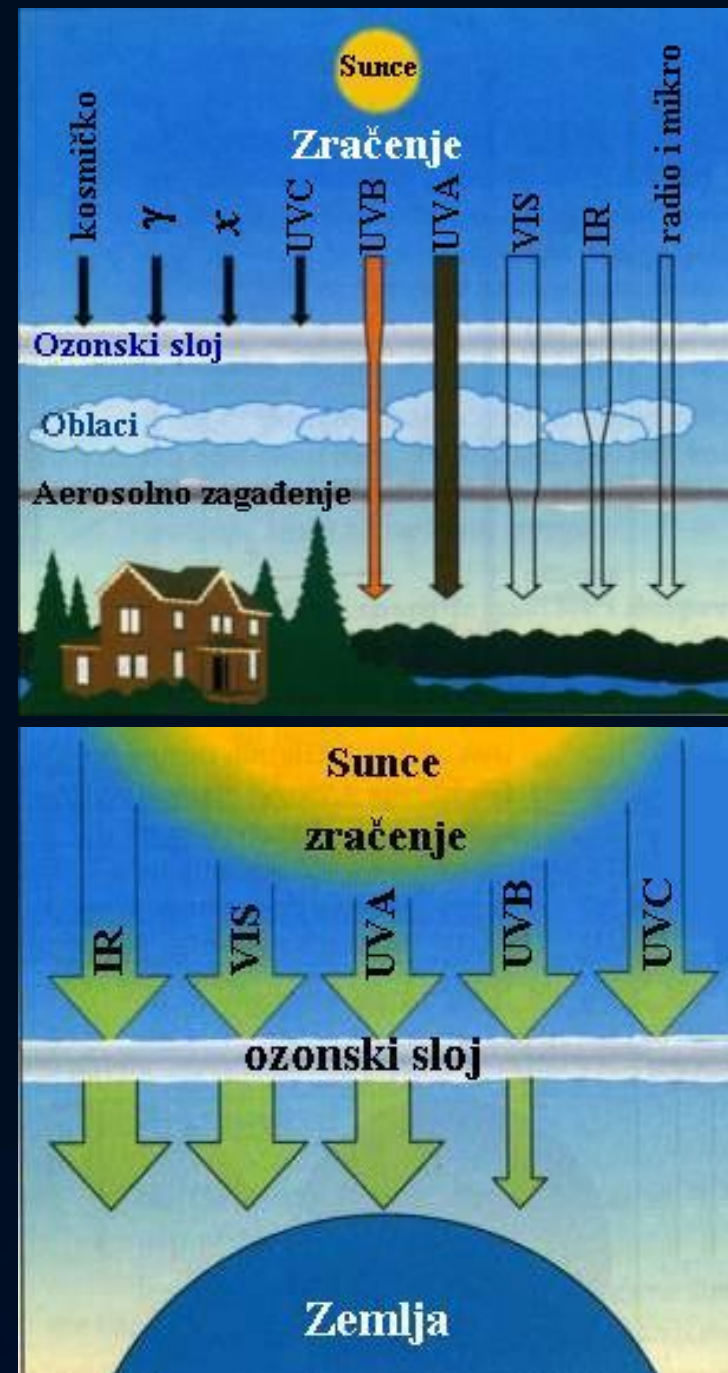
Temperatura

- U nastanjivoj zoni temperatura mora da bude u određenom intervalu koji omogućuje postojanje života
- Ukoliko se radi o vodenom omotaču temperatura treba da se kreće između 0 C i 100 C.
 - U slučaju viših pritisaka temperature mogu da budu i preko 100 C.
 - Suviše toplo, voda isparava, nemoguće ukloniti CO₂
 - Suviše hladno, ako se zagreva viškom CO₂ on formira oblake i blokira Sunčevo zračenje
- (Konzervativna) nastanjiva zona u Sunčevom sistemu obuhvata Zemlju, a po mnogim procenama u njoj leži i Mars.
- Zemlja – Zlatokosa planeta
 - Zemlja bi bila nenastanjiva da je za 5% bliže Suncu ili 15% dalje od njega.
 - Sa aspekta života, njen trenutni položaj u odnosu na Sunce je baš kako treba.

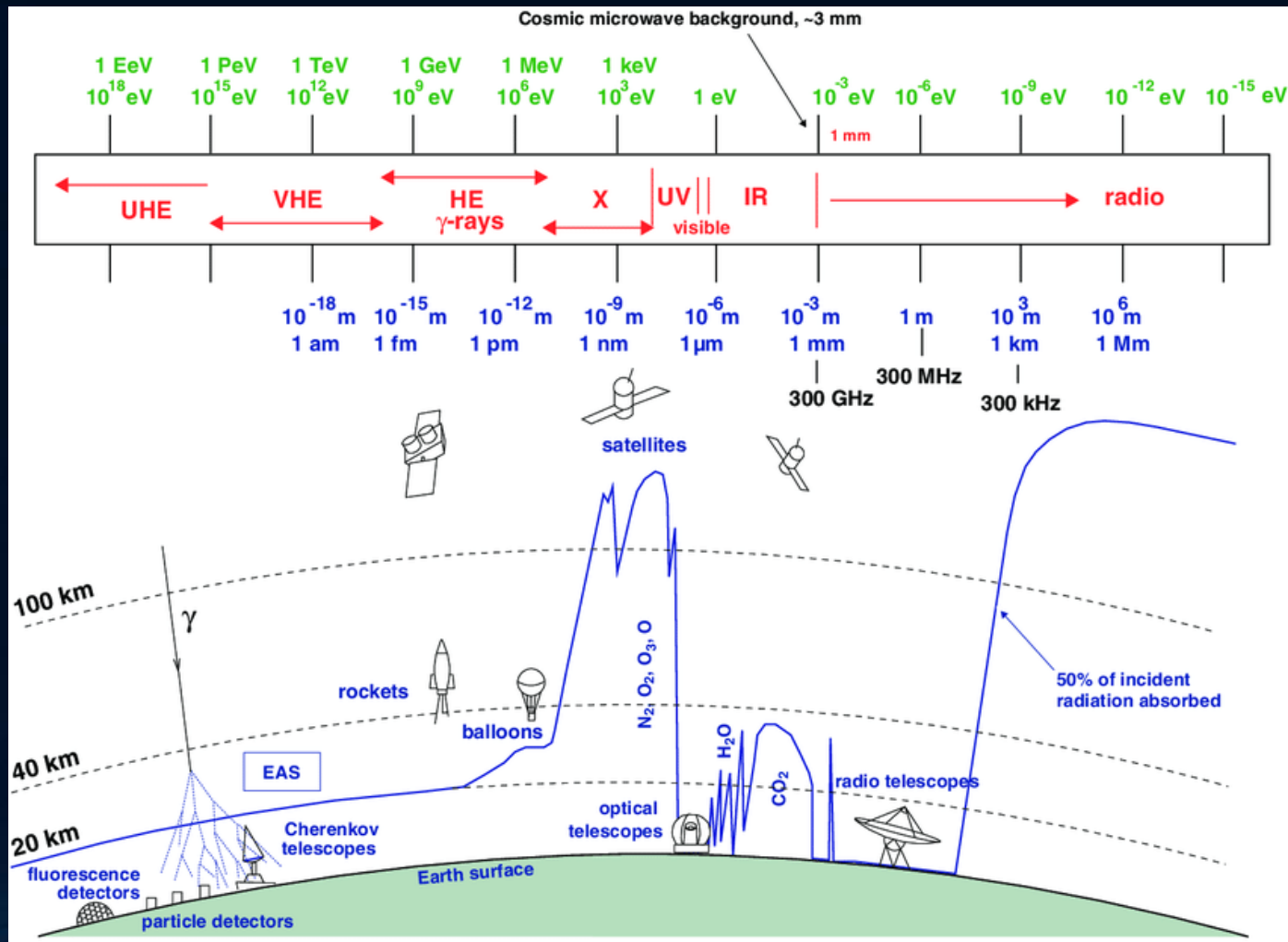


Atmosfera

- Planeta treba da ima atmosferu koja omogućuje nastanak i razvoj života
- Atmosfera treba da je takvog sastava i gustine da apsorbuje ili rasejava zračenje, čiji fotoni nose energiju koja može da "razori" biološke molekule.
- Za kosmičko, UV, rentgensko i gama zračenje, Zemljina atmosfera ponaša se kao zid debljine 4,5 m.
 - Da nema atmosfere "ubijale" bi nas i kišne kapi pri padu (mada one ne bi ni mogle da se formiraju bez atmosfere).

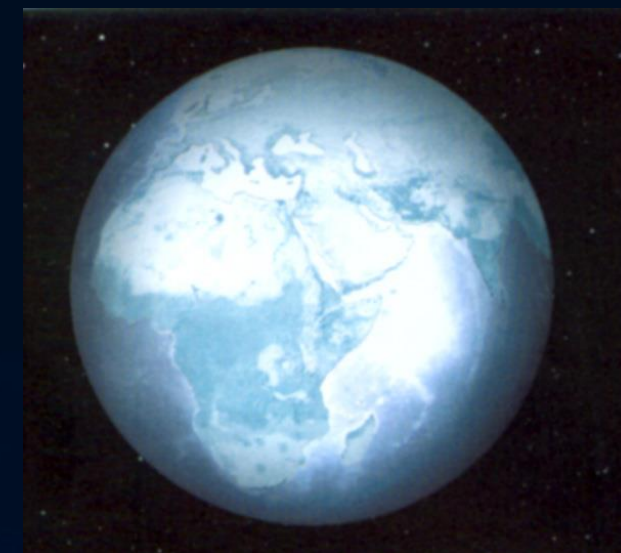
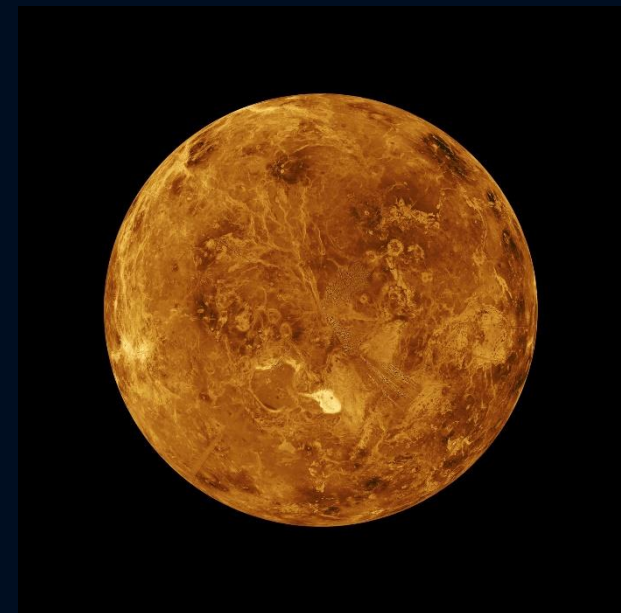


Atmosfera



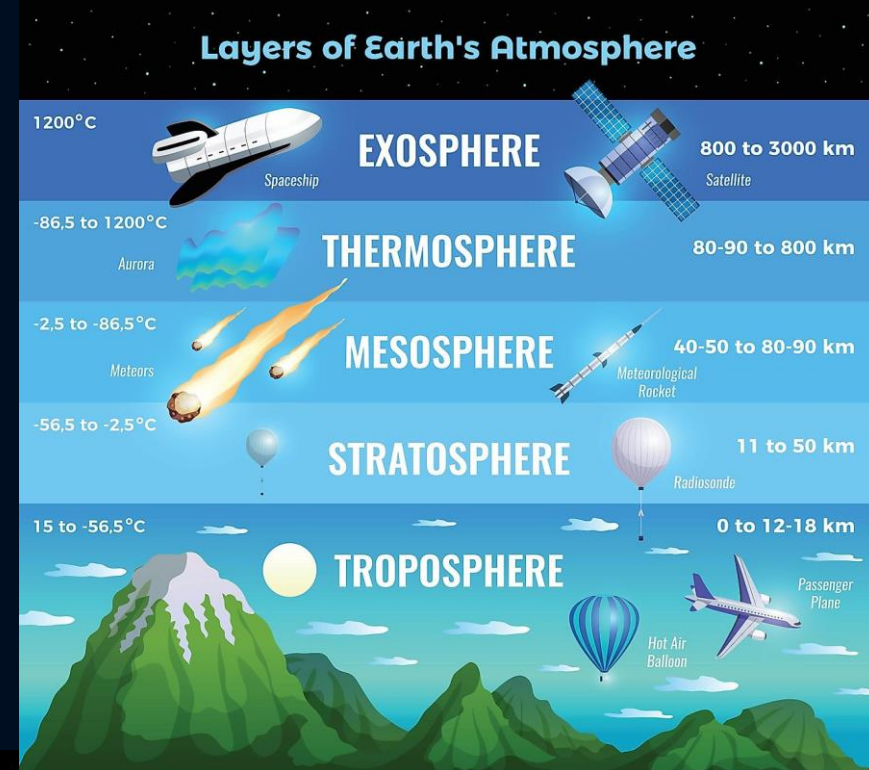
Atmosfera

- Velika količina CO₂ značajno podiže temperaturu (efekat staklene bašte).
- Temperatura na Veneri pri tlu dostiže 480 C; da nema efekta staklene bašte, zbog nešto većeg albeda, iako bliža Suncu, njena temperatura bi trebalo da bude tek malo viša od Zemljine.
- Srednja globalna temperatura vazduha u blizini Zemljine površine je oko 15 C.
- Kada ne bi postojala atmosfera i kada ne bi bilo efekta staklene bašte, ta temperatura bila bi za oko 30 C niža.
- To bi Zemlju pretvorilo u ledenu grudvu, a visoki albedo snega i leda bi još više snižavao temperaturu.
- Tada na njoj ne bi bilo života.



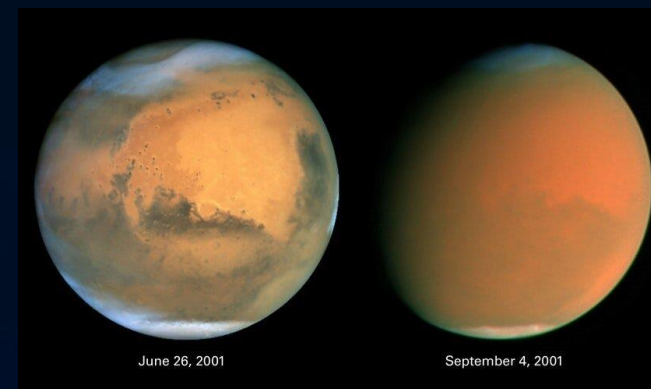
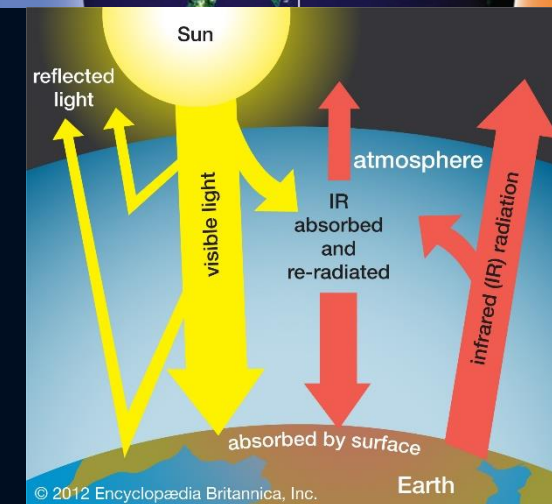
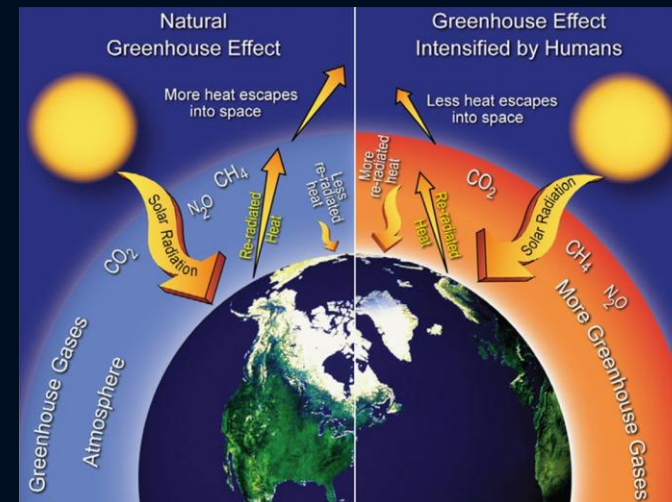
Atmosfera

- Na stanje atmosfere utiču količina i vrsta energije koja u nju dospeva, albedo planete, hemijski sastav, masa planete, temperaturni balans,...
- Poremećaji u sastavu i temperaturnom balansu mogu da dovedu do uništenja života.
 - Možda je takva situacija bila na Marsu.

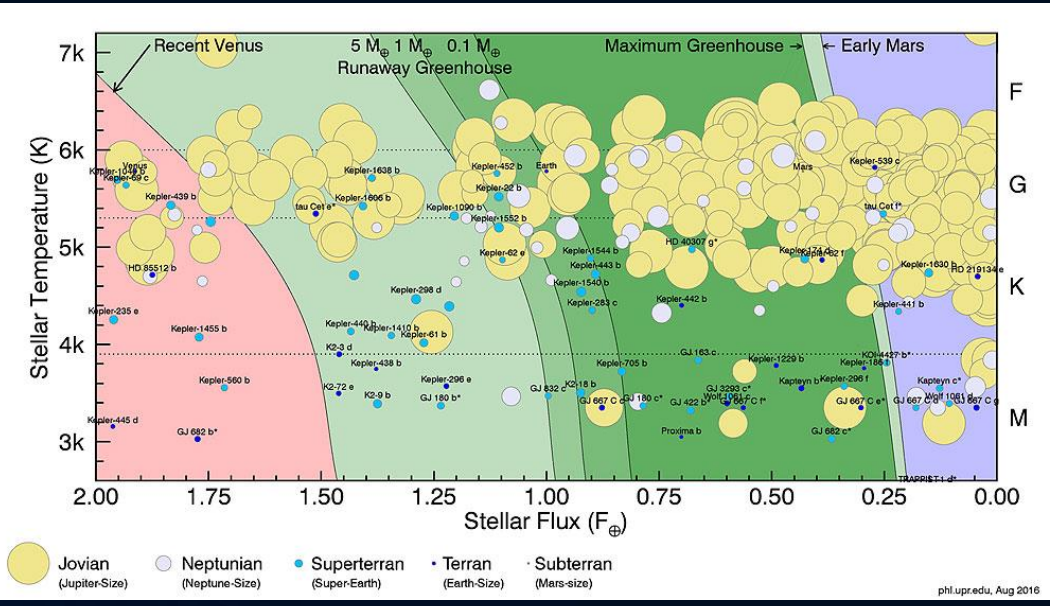
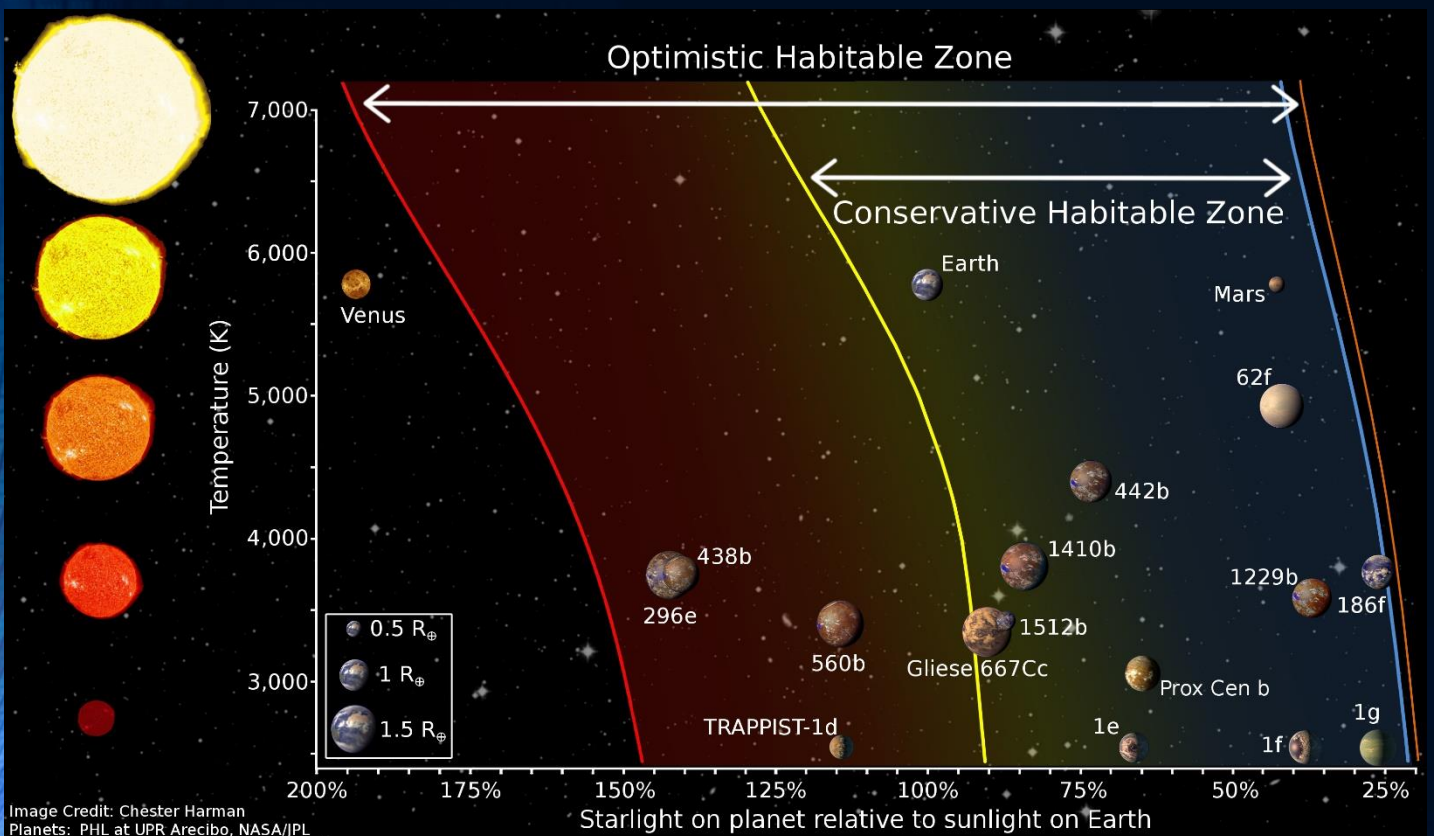
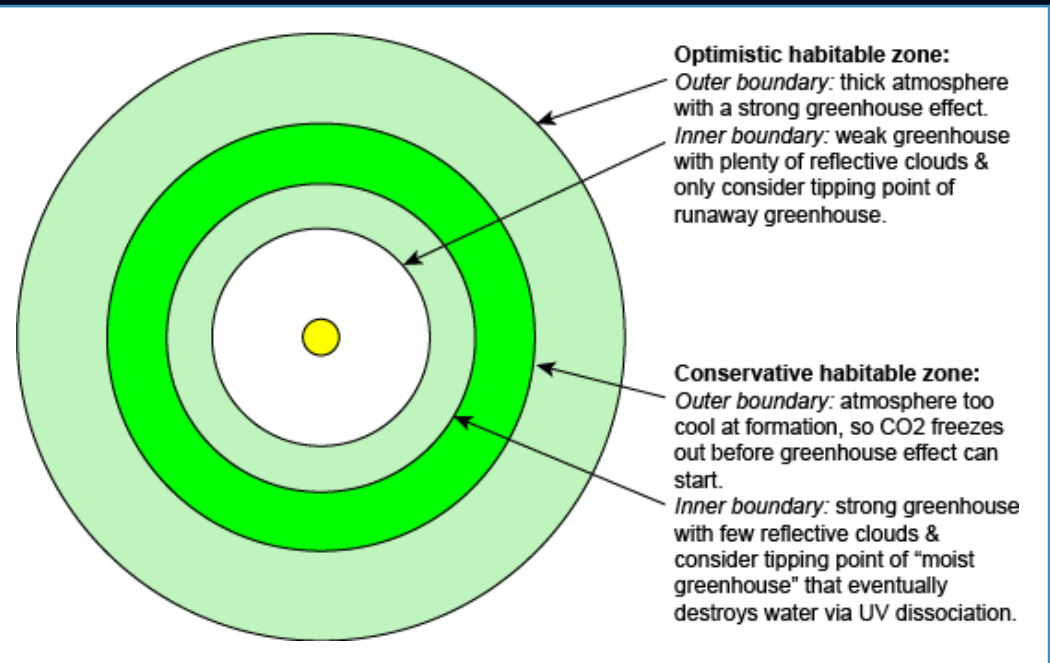


Atmosfera

- Gasovi staklene bašte:
 - CO₂, H₂O, CH₄, N₂O, CCl₃F,...
 - Njihovi mali procentni poremećaji imaju velike reperkusije na temperaturni režim.
- Kod Venere, Zemlje i Marsa prisutan je "fenomen zlatokose":
 - Venera je previše topla, Mars suviše hladan, a Zemlja baš kako treba.
 - To ima veze sa udaljenošću od Sunca, **ali i sa efektom staklene bašte**.
 - Venera i Mars imaju približno isti procenat CO₂ u atmosferama, ali je atmosfera Venere znatno gušća, zbog veće mase planete, pa je njena temperatura znatno viša.
 - Na Marsu je prisutan i **efekat antistaklenika**: povremene globalne peščane oluje dovode do toga da podignuta prašina "zasenjuje" površinu planete, koja se zbog toga manje greje.



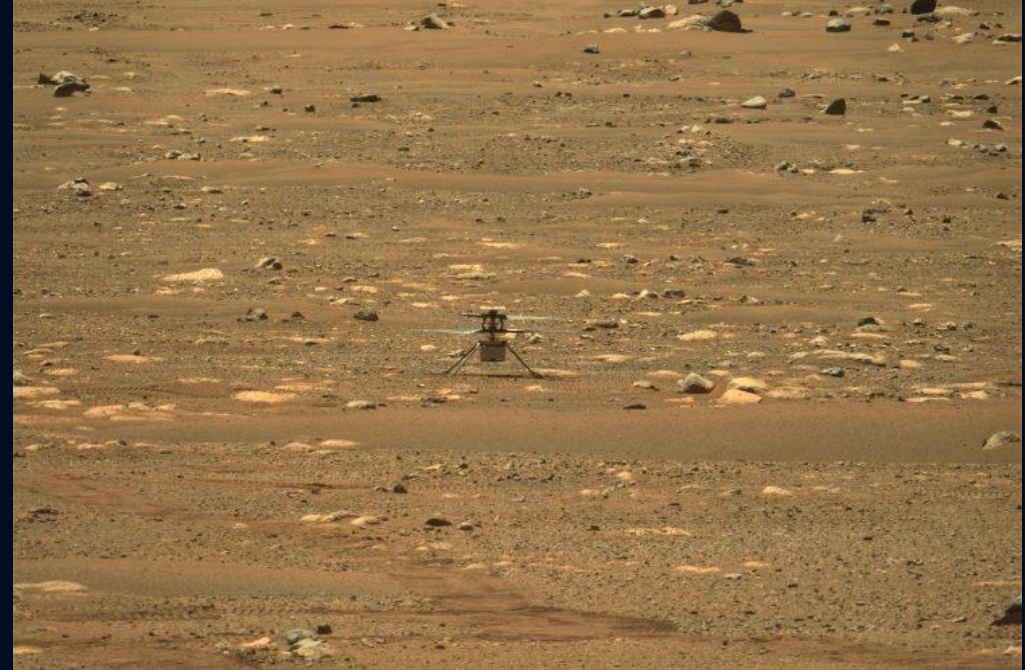
Nastanjiva zona zvezde



Optimistična i konzervativna nastanjiva zona

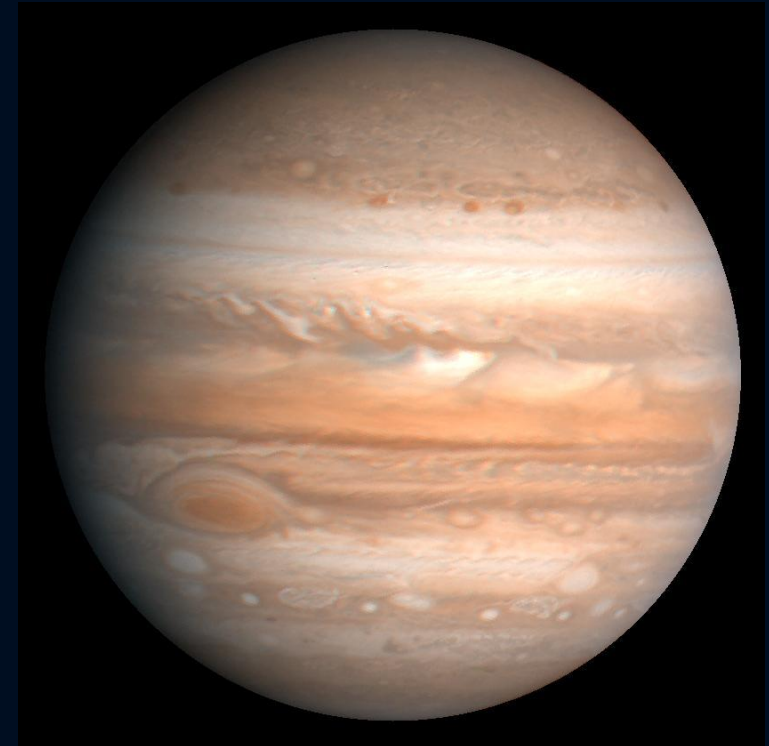
Masa planete

- Masa planete treba da **onemogući** preveliku disipaciju atmosfere
- Planete **Zemljinog tipa malih masa** nisu pogodne za nastanak i opstanak života.
- **Nisu u stanju da svojom gravitacijom zadrže atmosferu.**
- Njihovi okeani će postepeno isparavati, a vodena para će pod delovanjem zračenja matične zvezde disipirati.
- Usled termalnog kretanja lakši atomi (pre svega vodonik) imaju brzinu koja je veća od brzine napuštanja planete.
- Zbog toga one vremenom gube okean, postaju suve, kamenite pustinja bez uslova za postojanje života.
- **To se desilo sa Marsom.**
- Da nema biosfere **kiseonik** bi **sa Zemlje** disipirao za oko **2000 god.**
- Planete malih masa blizu matične zvezde nemaju atmosferu (Merkur).



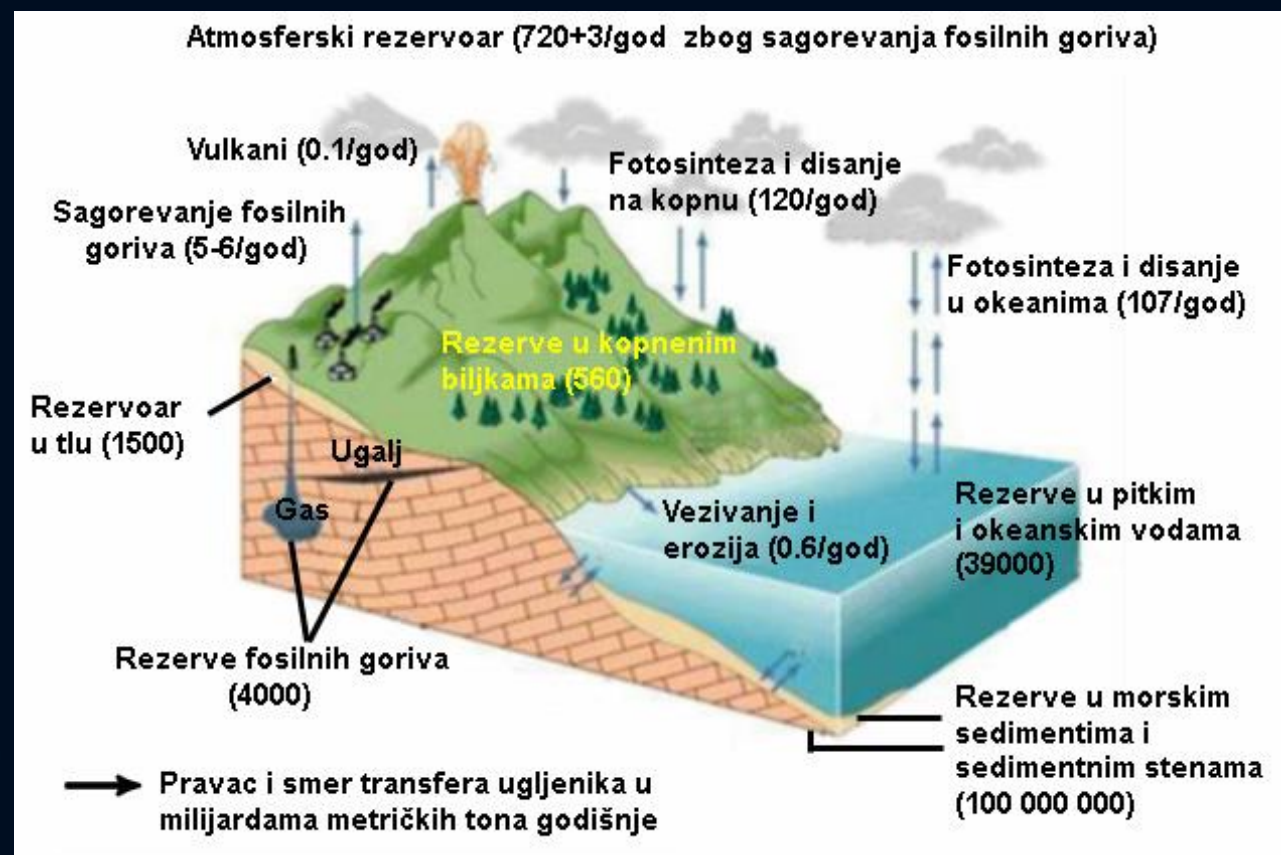
Masa planete

- Planete velikih masa daleko od zvezde imaju guste i hladne atmosfere.
- To su planete sa mnogo vodonika i helijuma.
- Radi se o gasovito tečnim gigantskim planetama kod kojih gusta atmosfera postepeno prelazi u osnovno telo (svetovi bez površine).
- Teži molekuli bi tonuli ka unutrašnjosti, a ogromni pritisci bi onemogućili bilo kakve složenije oblike života.



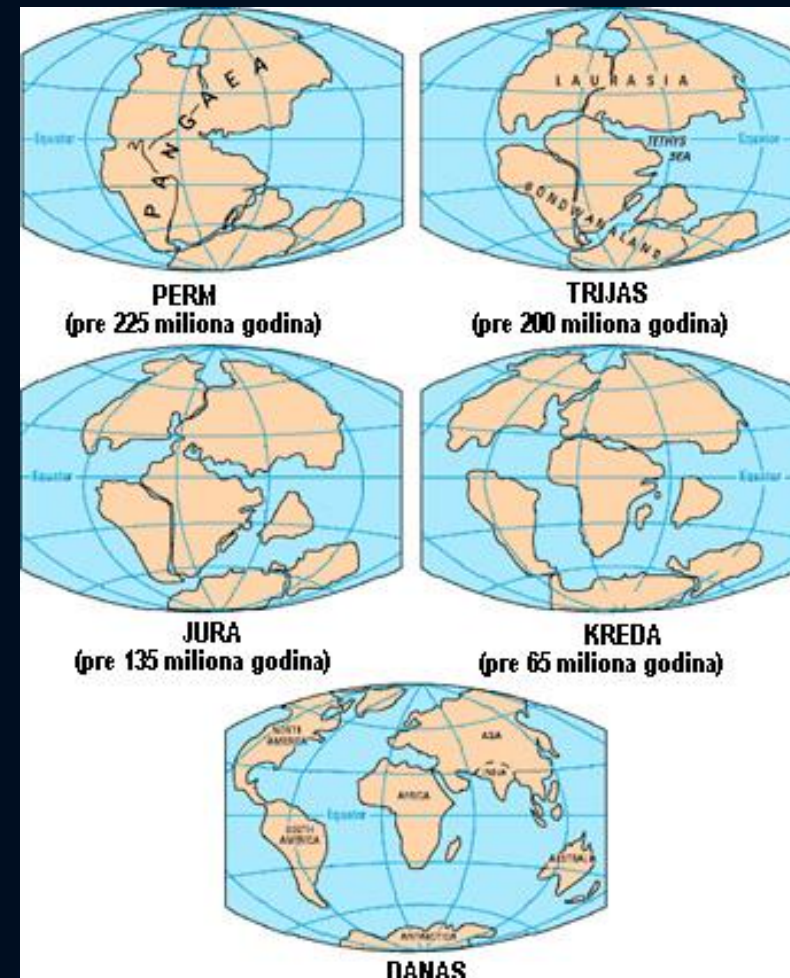
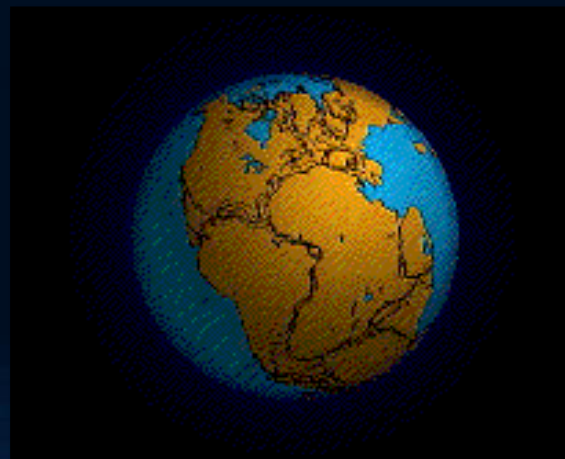
Tektonska aktivnost

- Za funkcionisanje **ugljičkog ciklusa** bitna je tektonska aktivnost.
- Ugljenični ciklus:
 - CO₂ iz atmosfere se vezuje u vidu padavina i stvaranja karbonata u stenama.
 - One tektonskim podvlačenjem (subdukcija) tonu u dubinu.
 - CO₂ nakon toga biva vraćen u atmosferu kroz gejzire i vulkane.



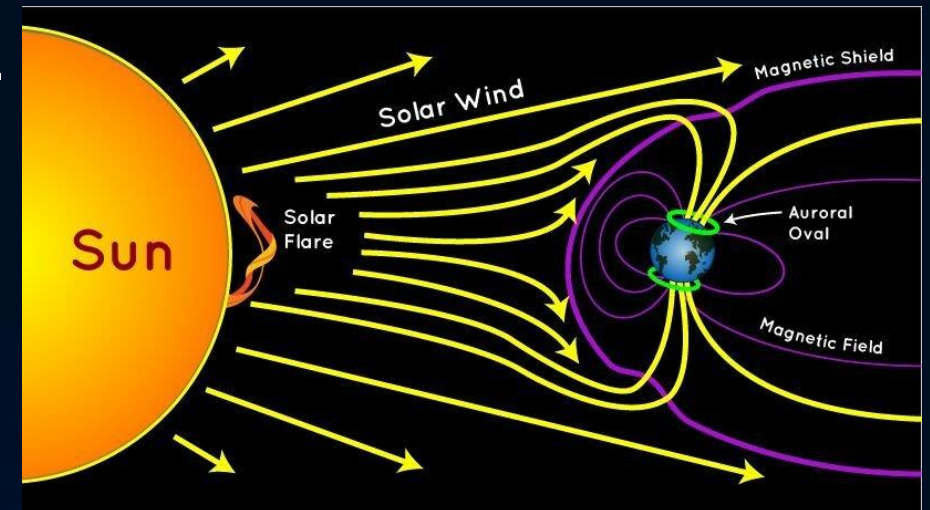
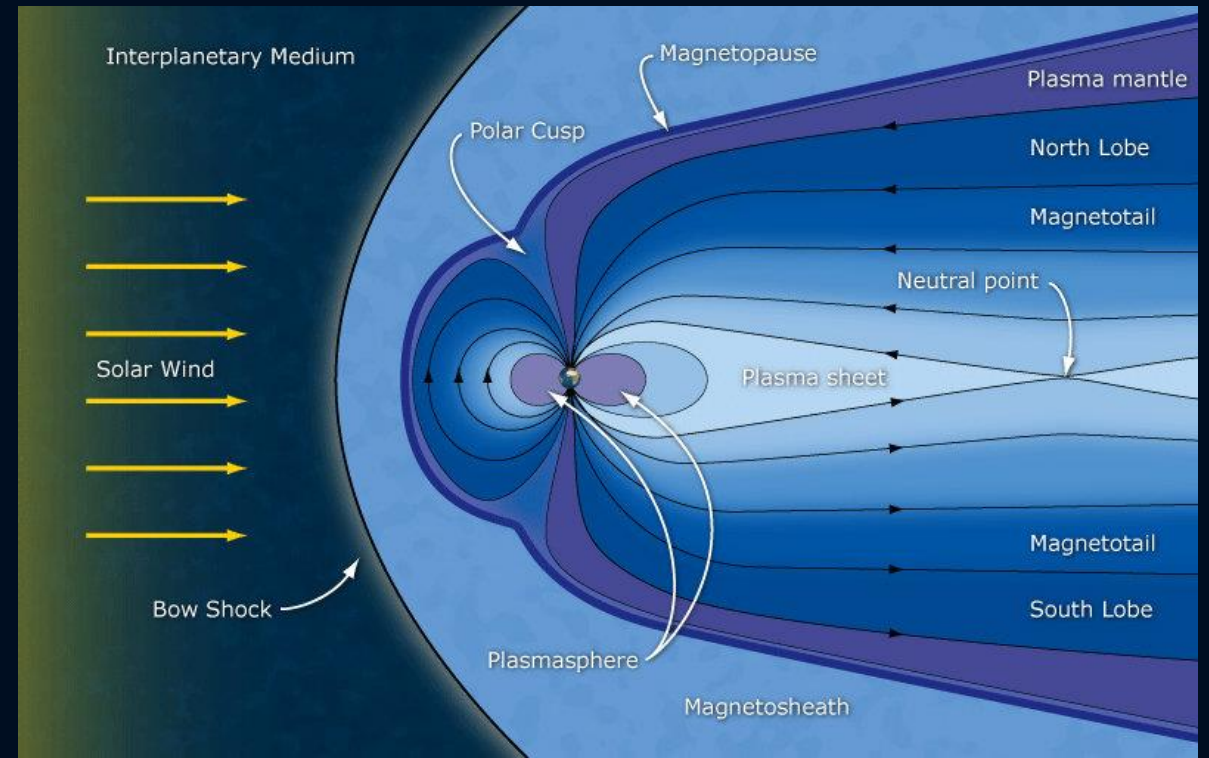
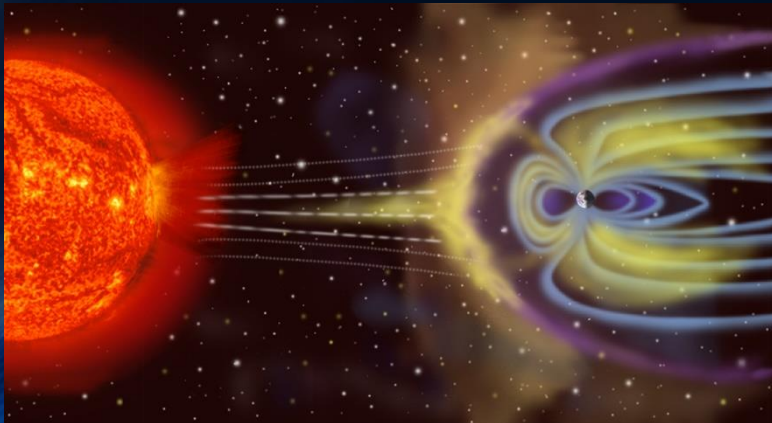
Tektonska aktivnost

- Uslovi za funkcionisanje tektonike
 1. Dovoljne količine **radioaktivnih izotopa** U, Th i ^{40}K (r-elementi koji nastaju u supernovama tipa II).
 2. Postojanje tečne vode (sprečava "zavarivanje" ploča).
- Mehanizmi nisu dovoljno proučeni.



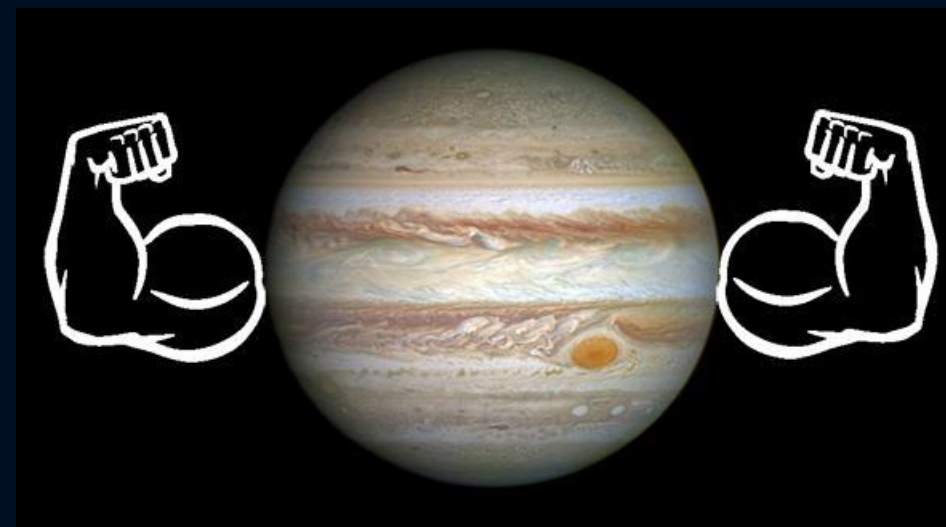
Najbolja planeta?

- Za nastanak života pogodne su planete čije su mase od 0,01 M_Z do nekoliko desetina M_Z.
- Atmosfera i magnetosfera planete treba da su takvi da efikasno štite život od intenzivnog kosmičkog (korpuskularnog) zračenja i "stelarnog" vetra.

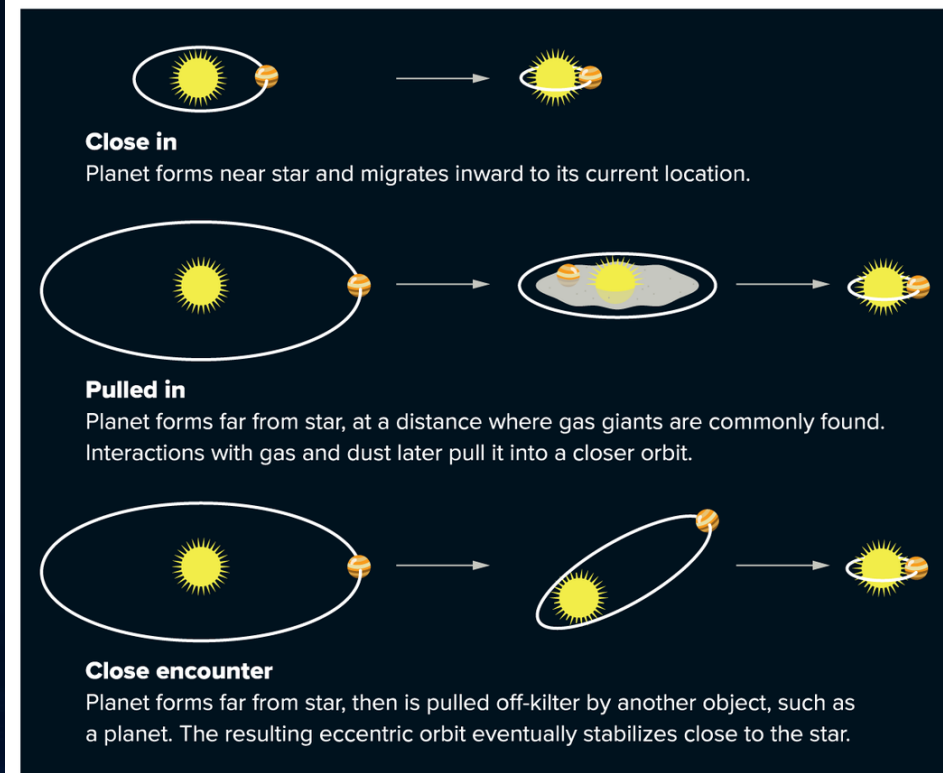


Planeta-štit

- U planetnom sistemu, osim planete-inkubatora, potrebno je i postojanje bar jedne masivnije planete, koja često ima **ulogu štita**.
- U našem sistemu tu ulogu ima Jupiter.
- ALI....
- Najveći broj otkrivenih ekstrasolarnih planeta je iz kategorije **vreljih Jupitera**, velikih planeta u blizini matične zvezde.
 - Prema teorijskim modelima planete veličine Jupitera ne mogu da se formiraju unutar 3 AJ od zvezde slične Suncu (snežna granica).
 - One su nastale izvan snežne granice i kasnije su migrirale ka zvezdi.
 - Ne mogu da menjaju orbite kada se uspostavi planetarni sistem, već to rade u njegovoj ranoj fazi.

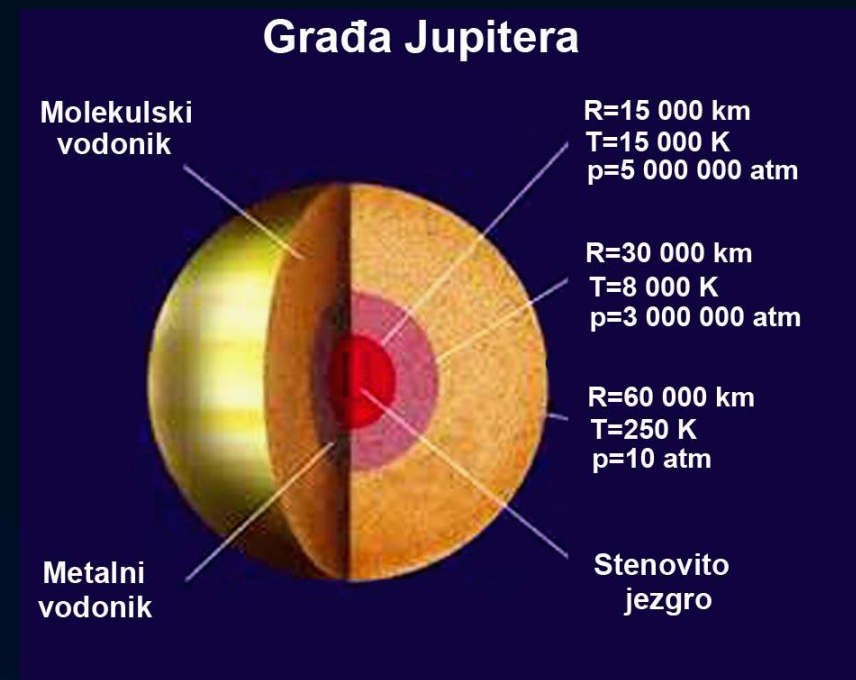
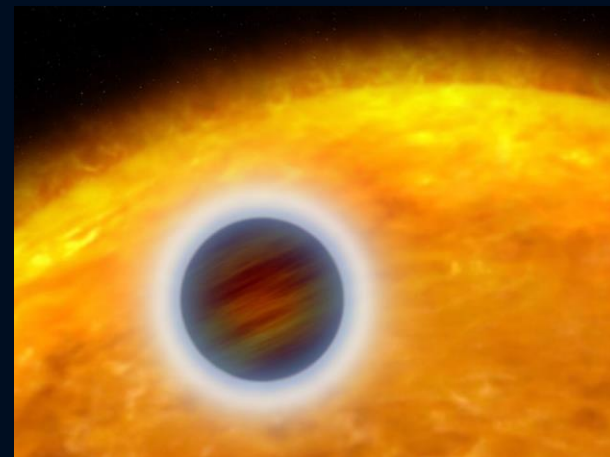


Three origin theories for hot Jupiters



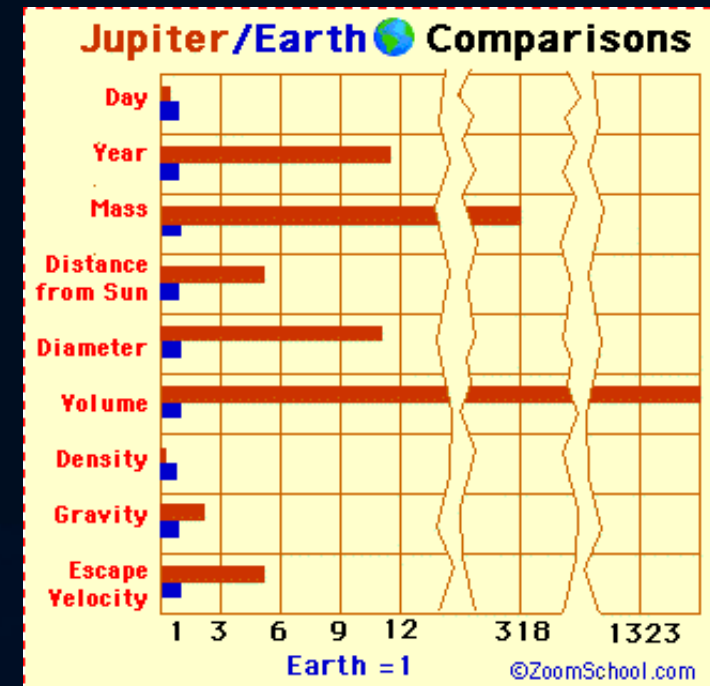
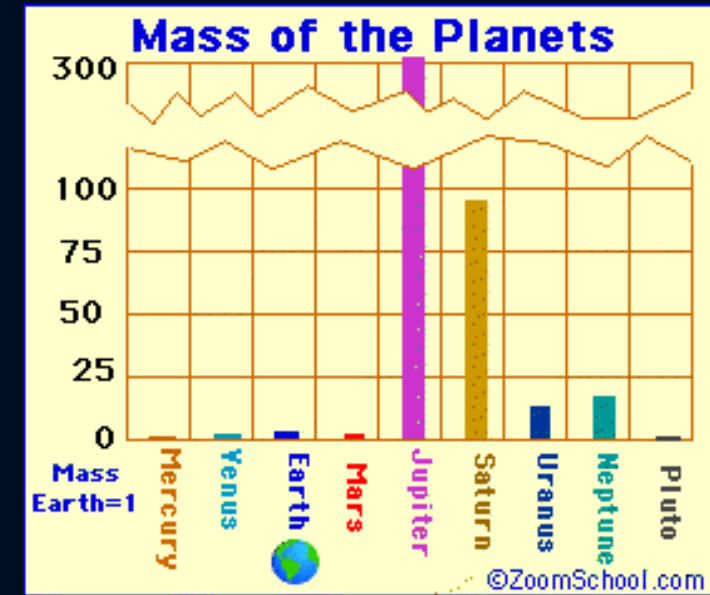
Planeta-štit

- Kada bi se to desilo kasnije, unutrašnje planete bi ili pale na zvezdu ili bi bile izbačene na veću udaljenost od zvezde, što bi onemogućilo postojanje tečnog omotača koji bi se zaledio.
- Malo je verovatno da zvezde, u čijem se planetarnom sistemu nalaze vreli Jupiteri, imaju životvorne planete.
- Veoma masivne **planete Jupiterovog tipa** su prekrivene okeanom tečnog vodonika.
- Složeniji (i teži) molekuli org. ili neorg. jedinjenja tonuli bi na dno takvog okeana, gde bi bili zarobljeni u uslovima visokih pritisaka i temp.
- Na planetama Jupiterovog tipa život nije moguć.



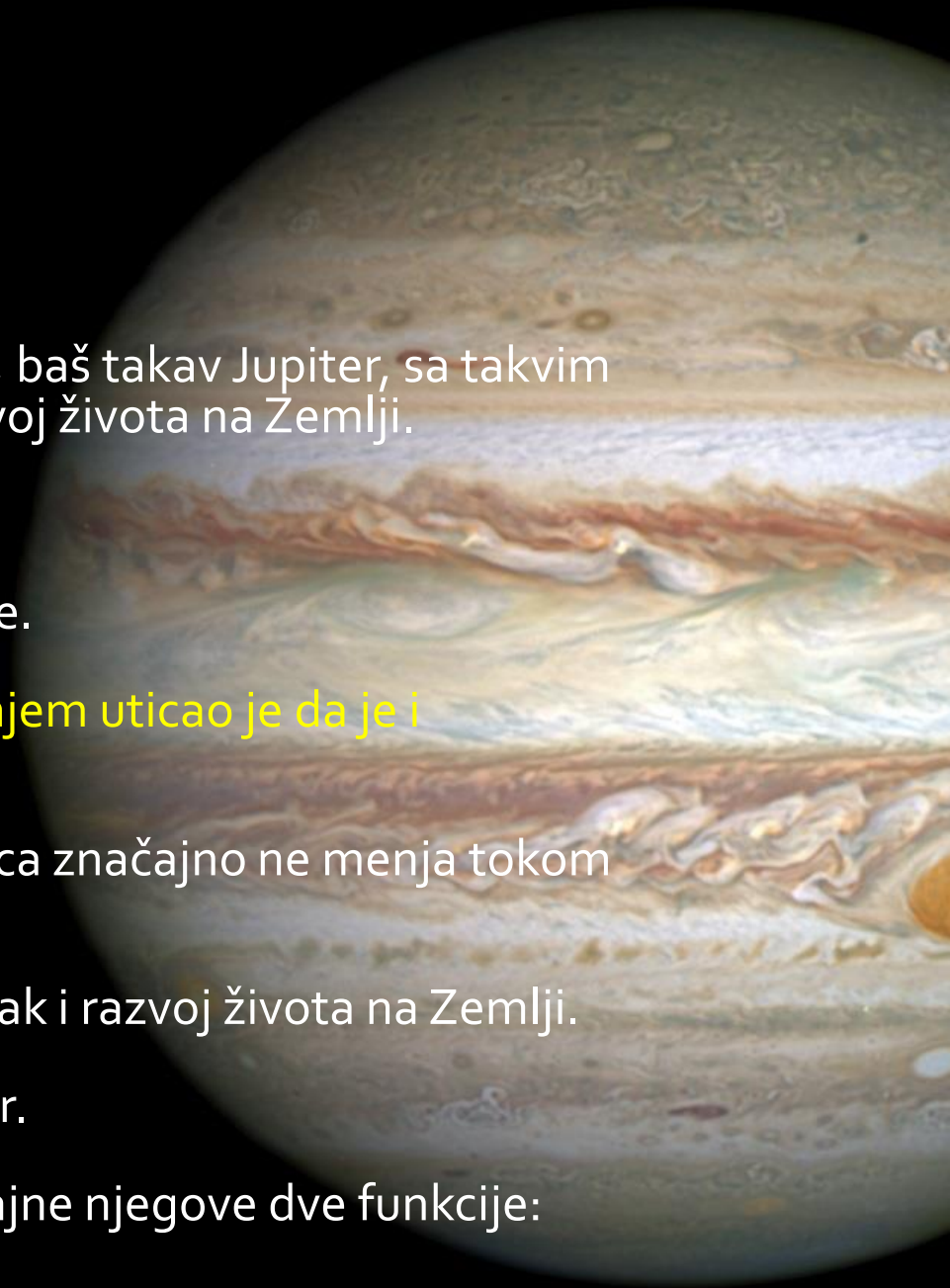
Planeta-štit

- Velike planete imaju vrlo bitan uticaj na evoluciju planetarnog sistema, kao i nastanak i razvoj života u njemu.
- S obzirom na mogući uticaj na ostale planete, jasno je da je, **osim mase** masivne planete, **vrlo bitan i njen položaj u sistemu i oblik njene putanje**.
- Razmotrićemo to na primeru “našeg” Jupitera:
 - Njegov poluprečnik je 11,2 puta veći od Zemljinog, a masa 318 puta.
 - Velika poluosa njegove putanje je oko 5,2 AJ.
 - To je dominantna planeta: ima **2,5 puta veću masu od ostalih 7 planeta zajedno**.
 - Po masenom udelu vodonika (90%) i helijuma (10%) sličan je Suncu, ali mu je masa ipak mala da bi postao zvezda.



Planeta-štit

- Iako je od Zemlje u proseku udaljen **oko 750 miliona km**, baš takav Jupiter, sa takvim položajem i masom bio je **neophodan** za nastanak i razvoj života na Zemlji.
- Jupiter je prva formirana planeta u Sunčevom sistemu.
- Bitno je uticao na planetarni sistem unutar svoje putanje.
- **Njegova orbita je skoro kružna, a gravitacionim delovanjem uticao je da je i Zemljina putanja takva.**
- To je učinilo da se fluks nepromenljivog zračenja sa Sunca značajno ne menja tokom Zemljinog kretanja duž cele njene putanje oko Sunca.
- Takva stabilnost uslova stvorila je mogućnost za nastanak i razvoj života na Zemlji.
- Toga ne bi bilo da u našem sistemu postoji „vrelí“ Jupiter.
- Sa stanovišta života, u Sunčevom sistemu, vrlo su značajne njegove dve funkcije: **štita** (odbojnika) i **snabdevača vodom**.



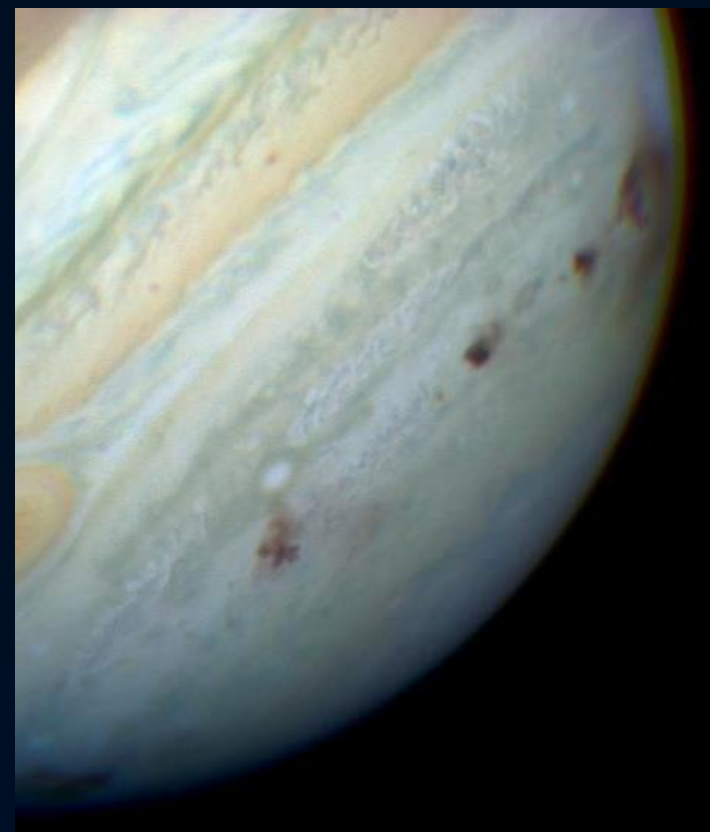
Planeta-štit

- Gravitacionim uticajem Jupiter **nije dozvolio stvaranje jednog velikog tela** u oblasti današnjeg asteroidnog pojasa i zaustavio je dalji rast Marsa.
- Takva planeta i veći Mars bi verovatno imali nepovoljan uticaj za nastanak života na Zemlji, jer bi je verovatno pomerili iz habitacione zone Sunca.
- Oko 500-600 miliona godina nakon nastanka Zemlje (epoha velikog bombardovanja, pre 4,1 do 3,8 milijardi godina) ona je bila izložena velikom broju udara tela čije su putanje bile haotično raspoređene.
- Na osnovu kratera na Mesecu smatra se da je na Zemlji bilo preko 22 000 kratera prečnika većih od 20 km, preko 40 udarnih basena od 1 000 km i nekoliko preko 5 000 km.
- Vremenom su udari jenjavali, a sadašnja stopa udara tela dimenzija od npr. 10 km je jednom u 10-100 miliona godina.



Planeta-štit

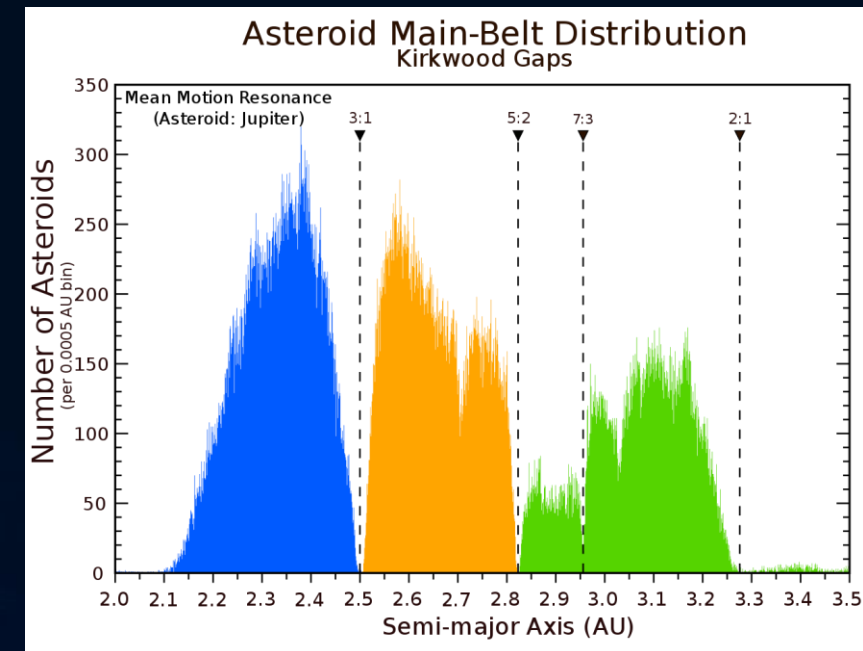
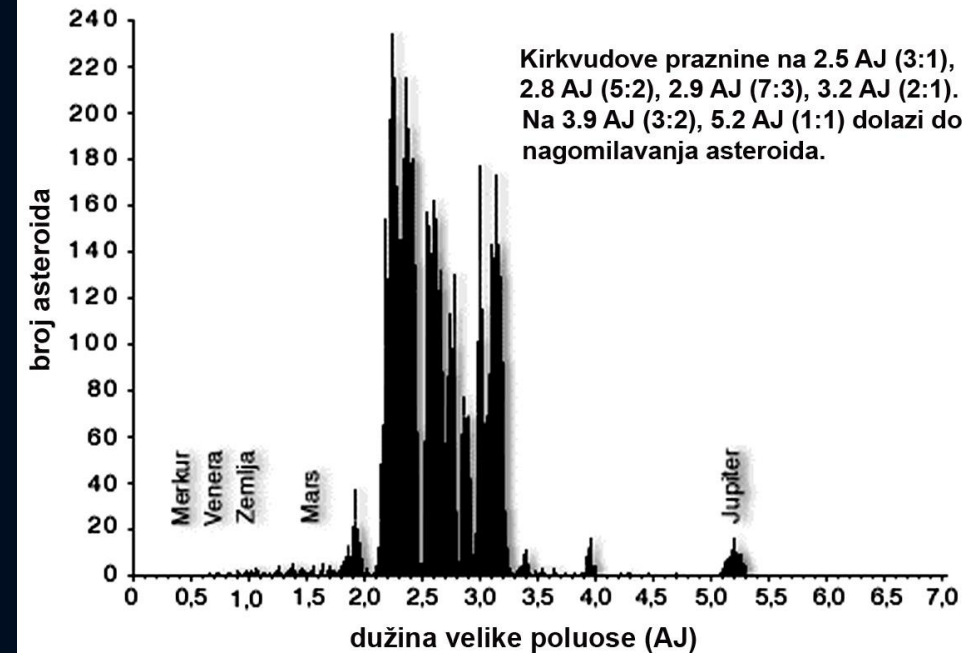
- Broj udara bi **na desetine hiljada puta bio veći** da nije bilo Jupitera.
- On je gravitacionim uticajem "rasterao" brojna mala tela koja su se haotično kretala.
- Neka su po principu gravitacione pračke bila izbacivana iz Sunčevog sistema, a druga su usmeravana ka njegovoj unutrašnjosti.
- Brojna tela je zarobljavao i pretvarao ih u svoje satelite. Mnoga su i padala na njegovu površinu.
- U novijoj istoriji poznat je raspad komete Šumejker-Levi 9 i pad njenih delova na Jupiter, jula 1994. godine.
- Na ovu planetu je 19. jula 2009. pala još jedna kometa.



Planeta-štit

- U svakom slučaju Jupiter je “počistio” brojna mala tela iz sredine Sunčevog sistema.
- Na to upućuje i raspodela asteroida u glavnom asteroidnom pojasu između Marsa i Jupitera, postojanje tzv. **Kirkvudovih praznina**.
- Predvideo ih je Daniel Kirkvud 1857, a potvrđene su 1866. god.
- Uočeno je da na rastojanjima od 2,5 AJ od Sunca (rezonanca 3:1), 2,8 AJ (5:2), 2,9 AJ (7:3), 3,2 AJ (2:1) nisu prisutni asteroidi.
- Sa druge strane na rastojanjima 3,9 AJ (3:2) i 5,2 AJ (1:1) dolazi do “gomilanja” asteroida.

Raspodela asteroida u asteroidnom pojasu



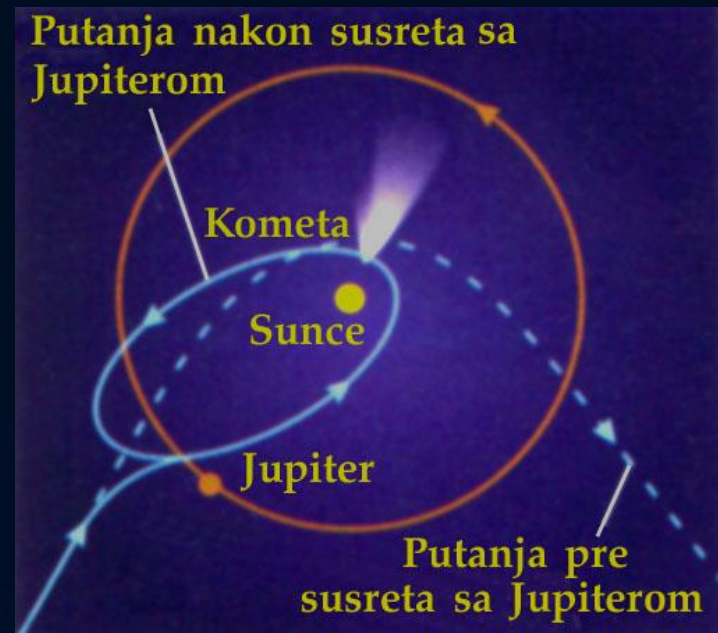
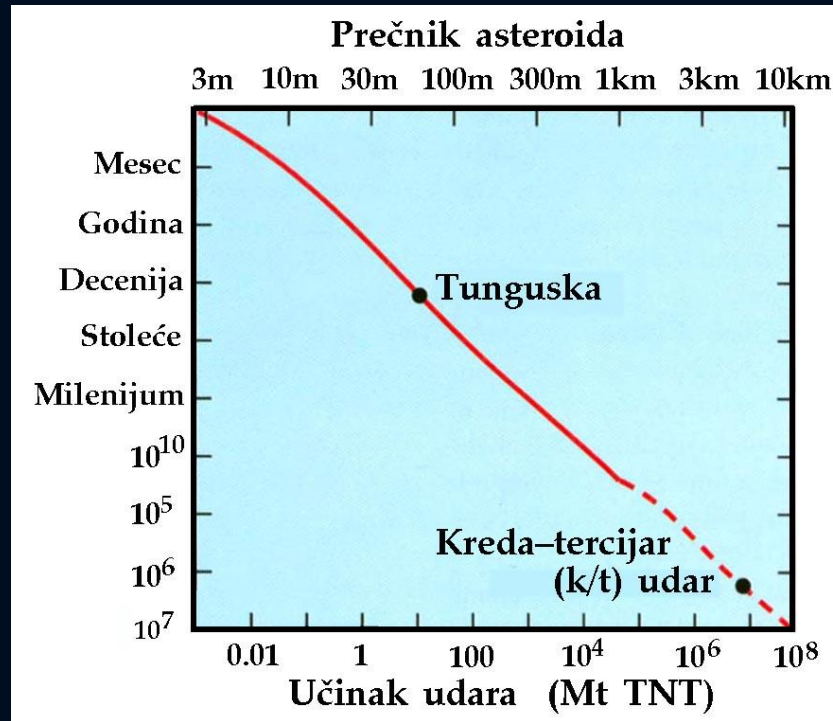
Planeta-štit

- Postojanje šupljina u asteroidnom pojasu posledica je rezonantnih efekata.
- Asteroidi se kreću oko Sunca prema Keplerovim zakonima.
 - Npr. asteroidi sa velikom poluosom od 2.5 AJ naprave 3 revolucije oko Sunca dok Jupiter napravi jednu (rezonanca 3:1).
- Kod svakog trećeg obilaska oko Sunca oni se nađu u istom relativnom položaju u odnosu na Jupiter.
- Tada Jupiter gravitaciono jače deluje na njih, saopštava im dodatni impuls i to je proces koji se pravilno ponavlja.
- Efekat je kumulativan i vremenom putanja asteroida postaje nestabilna, njena velika poluosa se menja i asteroid odlazi sa te pozicije, što dovodi do stvaranja praznine.
- Neka od tih rezonantnih tela bila su izbačena u spoljašnje delove Sunčevog sistema, a neka su poput projektila usmeravana ka unutrašnjosti.



Planeta-štit

- Gravitacionim delovanjem Jupiter je skretao, a ponekad i privremeno zarobljavao komete koje su iz Ortovog oblaka kretale ka unutrašnjosti Sunčevog sistema.
- Neka od takvih asteroidnih i kometnih tela, pogotovo u ranijim fazama razvoja Sunčevog sistema, sudarala su se sa Zemljom.
- Pošto su komete "aglomerati vodenog leda i stena" mnogi autori smatraju da **voda na Zemlji potiče upravo od kometa** koje su u njenoj ranoj istoriji, usmeravane od strane Jupitera, često na nju.
- Od tih vremena do danas količina vode na Zemlji praktično se nije promenila.



Planeta-štit

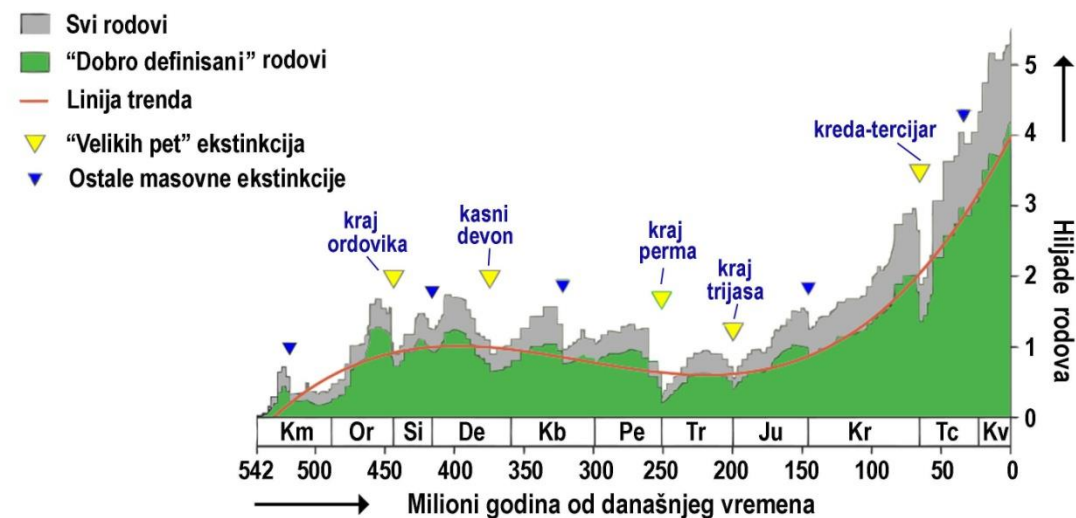
- Simulacije pokazuju da planete Jupiterovog tipa upravo na udaljenostima 4-5 AJ od matične zvezde (velika poluosa Jupitera je 5,2 AJ) utiču na **formiranje unutrašnjih planeta sa dosta vode**.
- U tom smislu, prisustvo „Jupitera“ na odgovarajućem rastojanju od matične zvezde, bitno je za nastanak života na planetama u habitacionoj zoni zvezde.
- Udari kometa ili asteroida **mogu biti pogubni** po život na planeti.
- Neposredna razaranja (požari, cunami, izmene reljefa), ali i klimatske promene i promene u atmosferi, nakon kataklizmičnih udara većih tela, uzrok su velikih ekstinkcija živog sveta na Zemlji.
- Primer: ekstinkcija preko 75% vrsta života (uključujući i izumiranje dinosaurus) pre 65 miliona godina.



Planeta-štit

- U poslednjih 500 miliona godina desilo se pet velikih i nekoliko manjih ekstinkcija.
- Po svemu sudeći **neke od njih su posledica udara** i promena na planeti koje su oni izazvali.
- Ali katastrofe su i **“motori evolucije”**: izumiranja u živom svetu ostavljaju “prazne” ekološke niše.

Fanerozojski biodiverzitet prikazani preko fosilnih zapisa



“Velikih pet” ekstinkcija:

- Ordovik-silur (kraj ordovika)** - 440-450 Mgod. U dva navrata izumrlo 27% svih familija i 57% svih rodova.
- Kasni devon** - 360-375 Mgod. U pet ekstinkcionih pulseva izumrlo 19% familija, 50% rodova, 70% vrsta.
- Perm-trijas (kraj perma)** -251 Mgod. Najveća ekstinkcija u istoriji Zemlje. U “Velikom umiranju” izumrlo je 57% svih familija, 83% svih rodova (u moru 53% familija, 84% rodova). Procenjuje se da je izumrlo 96% morskih i 70% kopnenih vrsta. Ova ekstinkcija imala je ogroman uticaj na dalju evoluciju života na Zemlji.
- Trijas-jura (kraj trijasa)** - 205 Mgod. izumrlo 23% familija (20% morskih), 48% rodova (55% morskih).
- Kreda-tercijar (K-T)** - 75-65 Mgod. Izumrlo 17% familija, 50% rodova i 75% vrsta. Izumiranje dinosurusa i popunjavanje upražnjenih ekoloških niša nakon ekstinkcije omogućilo je dominaciju sisara i ptica.

Planeta-štit

- Njih brzo popunjavaju nove, prilagodljivije vrste.
- Smene perioda kriza i stabilnosti na svakih 20-30 miliona godina povoljno utiču na evoluciju života.
- Ako motor "radi" prebrzo, asteroidi i komete "udaraju" **prečesto** život ne dobija priliku da se razvije do inteligentnih formi.
- S druge strane, ako motor "radi" sporo i ova tela **udaraju retko** u planetu, u nepromenljivom okruženju život nema potrebe da se menja i evoluira prema naprednijim formama.
- U Sunčevom sistemu, gravitacionim delovanjem na asteroide i komete, Jupiter je "podesio" motor evolucije na Zemlji
- On je smanjivao fluks kometa koje bi udarile u Zemlju i uzrokovala masovna izumiranja.
- Manja učestanost sudara povećala je nastanjivost Zemlje.
- S druge strane, u ranoj istoriji Zemlje, Jupiter je **usmeravao komete** ka Zemlji koje su **doprinеле prisustvu vode** na njoj, a **možda i života (?)**.



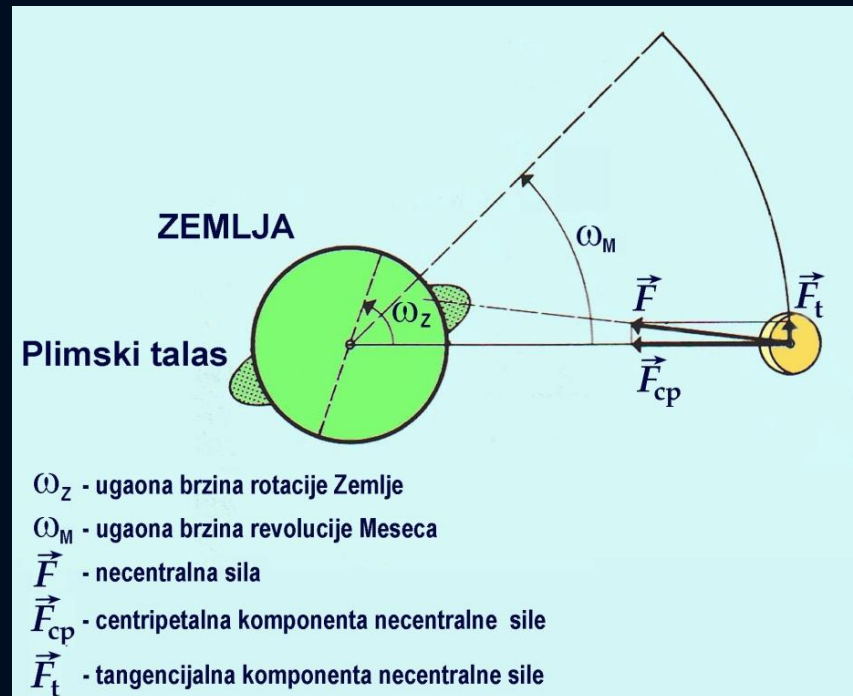
Planeta-štit

- Koliko kometa je potrebno?
 - Zapremina vode na Zemlji $m_{voda} = 1,386 \cdot 10^{21} \text{ l}$
 - Prosečna kometa $\approx 50\%$ voda (led), masa komete $m_c \approx 10^{13} \text{ kg}$
 - $$N = \frac{1,386 \cdot 10^{21}}{0,5 \cdot 10^{13}} \approx 2,77 \cdot 10^8 \text{ kometa}$$
- Procena – tokom Velikog bombardovanja na Zemlju palo oko 100.000 – 200.000 asteroida (većih od 10 km) i 10.000 – 20.000 kometa
- Najverovatnije komete nisu jedini izvor vode ali su verovatno dale značajan doprinos.



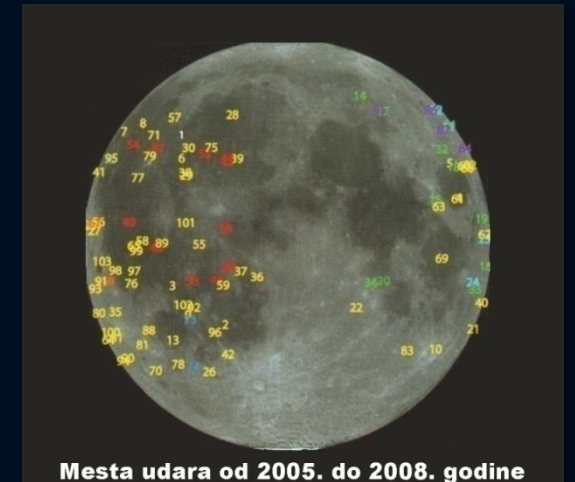
Sateliti

- Prisustvo satelita oko planete u nastanjivoj zoni povoljno utiče na formiranje, a pre svega na opstanak života.
- Za nastanak, razvoj i funkcionisanje života na planeti potrebno je da je njena **rotacija stabilna**.
- Stabilnost rotacije Zemlje (brzinu i nagib ose) obezbeđuje Mesec.
- Zato je on jedan od faktora koji utiču na dugoročnu stabilnost klime na Zemlji.
- Zbog plimskog delovanja i pojave ncentralne sile, Mesec se od Zemlje udaljava oko 4 cm/god.
- Njegov stabilizirajući uticaj će prestati kroz dve milijarde godina.
- Ne treba zaboraviti da je interakcija Zemlja-Mesec oko 10 000 puta većeg intenziteta od interakcije Zemlja - sve planete zajedno, tako da je gravitacioni uticaj Meseca na Zemlju vrlo bitan za funkcionisanje života.

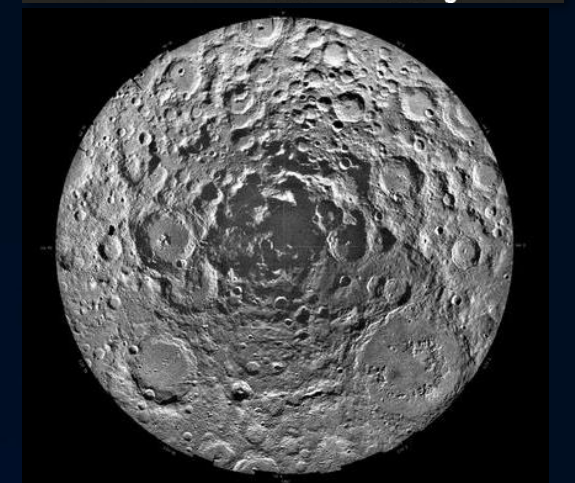


Sateliti

- Osim toga, sateliti planeta efikasno čiste "koridor" planete od udara velikih meteorita.
- To potvrđuje i izgled Mesečeve površine.
- Na njemu je preko milion udarnih kratera većih od 1 km i preko 17 000 kratera većih od 3,5 km.
- Mnoga od tih udarnih tela da nisu završila na Mesecu, verovatno bi se sudarila sa Zemljom.
- To bi imalo značajne posledice po život na našoj planeti.



Mesta udara od 2005. do 2008. godine

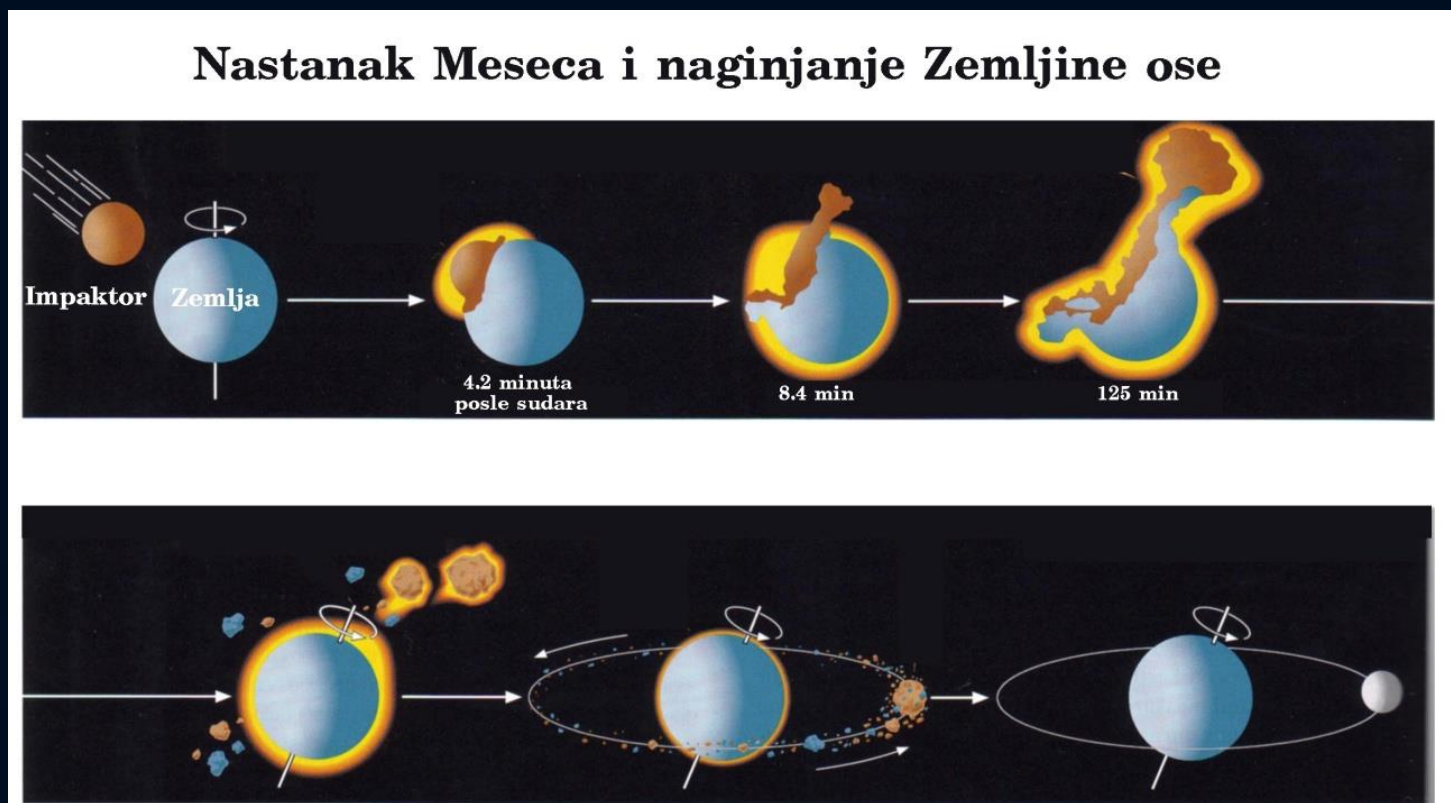


Sateliti

- Prema danas najprihvatljivijoj teoriji **V. Hartman** i **D. Dejvisa** (1975.) tvrdi se da je pre 4,527 milijardi godina (30-50 miliona nakon nastanka Sunca) **Mesec nastao u sudaru** jednog tela veličine Marsa sa, u to vreme, polurastopljenom Zemljom.
- **Kameron** i **Vord** su izračunali da su dimenzije tog tela morale da budu $\frac{1}{3} R_Z$ ili čak $\frac{1}{2} R_Z$. Telo su nazvali **Teja**.
- Teja je udarila u Zemlju pod velikim uglom.
- Površinski omotač Zemlje i Teja su isparili i odleteli u okolinu planete.
- Rastopljena Zemlja je ponovo očvrsla, a od odbačenog oblaka kondenzacijom je nastao Mesec.

Sateliti

- Prvobitna orbita Meseca bila je mnogo bliže Zemlji od današnje.
- U to vreme dan na **Zemlji trajao je oko 10 h.**
- Zbog plimskih delovanja Mesec je prešao na današnju orbitu, a dan na Zemlji poprimio je današnje trajanje.



Sateliti

Nastanak Meseca



- U sudaru je stvoren Mesec, ali je došlo i do promena u Zemljinom kretanju.
- Danas Mesec deluje stabilizirajuće na kretanje Zemlje.
- S obzirom na dimenzije koje je Teja trebalo da ima mnogi naučnici ističu da je takav **sudar malo verovatan**.
- Pošto je stabilnost rotacije planete obezbeđena prisustvom njenog satelita uporedivih dimenzija, jasno je da, s obzirom na malu verovatnoću nastanka takvog satelita u procesu sudara, jasno je da **stabilnost rotacije planeta nije tako česta**.
- To je još jedan od faktora koji čini da život u Kosmosu nije tako česta pojava.

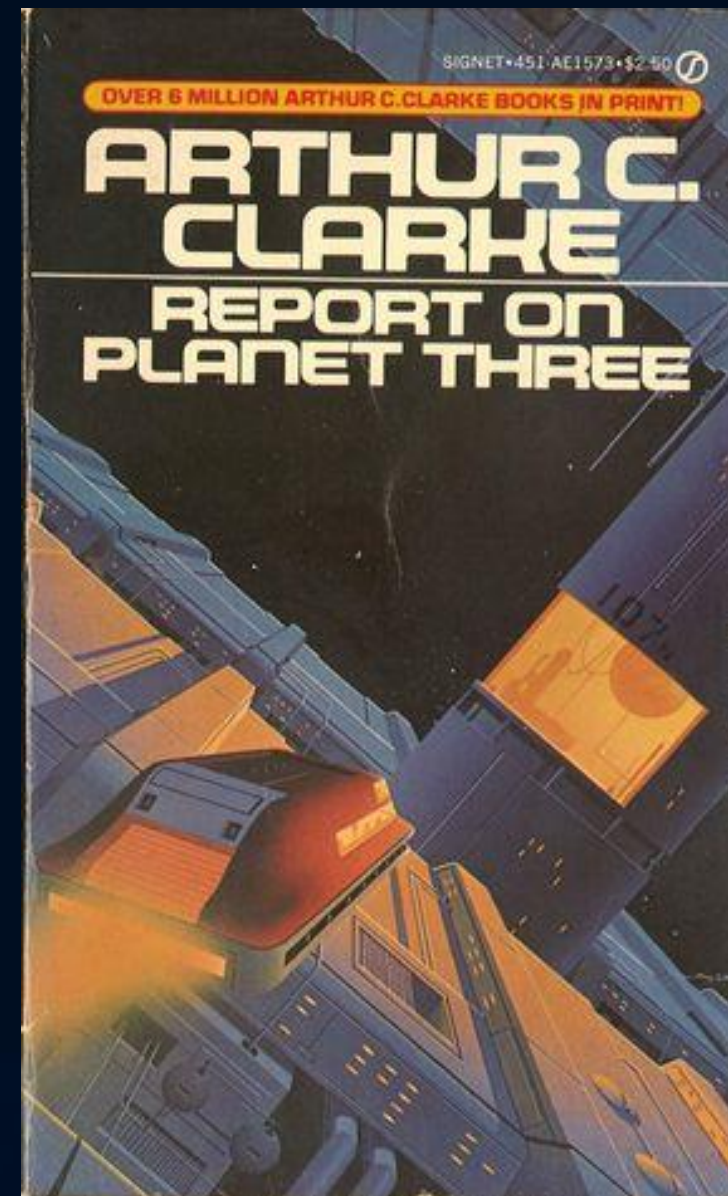
Zemlja 😊

- Zar vam se ne čini da je u Kosmosu jedino Zemlja idealno mesto za život i da je Sunce jedina zvezda oko koje je on moguć?
- Zašto?
 - Nalazi se u pravoj vrsti galaksije
 - Ima stabilnu temperaturu, koja pogoduje tečnoj vodi, jer je:
 - ni suviše blizu, ni suviše daleko od Sunca;
 - njen ugljenično-silikatni ciklus efikasan
 - Ima stabilnu rotaciju
 - Ima umerenu stopu sudara sa malim objektima (obezbeđuju Jupiter i Mesec)
 - Prima umerenu dozu jonizujućeg zračenja i kosmičkih zraka



Artur Klark

- *Izveštaja stručnjaka sa Marsa o planeti broj tri:*
 - „Zemlja je jedna negostoljubiva, plavozelena planeta, u čijoj atmosferi postoji izuzetno reaktivni gas kiseonik, koji omogućuje i takav “grozan” fenomen koji se zove vatra.“
 - *On život na Zemlji čini naprosto nemogućim!*



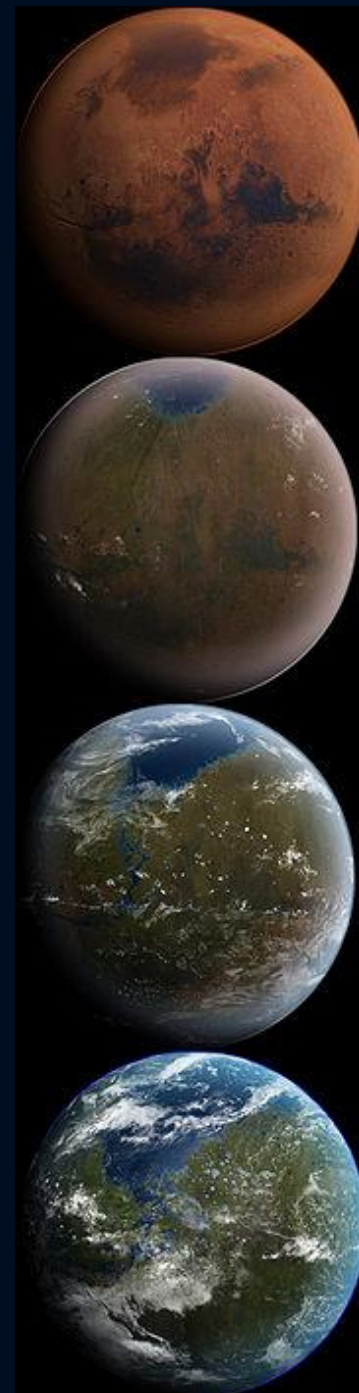
Teraformiranje

- Teraformiranje
 - postupak pretvaranja negostoljubivih planeta u sveteve slične našem.
- Pošto se pored Zemlje u habitacionoj zoni Sunca, prema sadašnjem nivou saznanja, nalazi još samo Mars, logično bi bilo da on bude prva planeta koju će čovek teraformirati.
- Radi se o procesu koji bi trajao hiljadama godina.



Teraformiranje

- O "preoblikovanju u Zemlju" pisao je **Olaf Stejpldon** u romanu "*Poslednji i prvi ljudi*" (1930).
 - Tu je opisan primer prilagođavanja Venere uslovima kao na Zemlji.
- Termin teraformiranje pominje se u SF romanu "*SiTi Šok*" **Džeka Vilijamsona**.
- **Karl Segan** je u "*Science*" 1961. g. izneo ideju da se temperatura na Veneri "obori" pomoću otpornih vrsta algi, koje bi postepeno smanjile koncentraciju CO₂ u atmosferi.
- Prvi naučni skup posvećen teraformiranju održan je 1979. godine Hjustonu, a organizovao ga je **Džejms Oberg**.
- **Segan** je 1973. govorio o teraformiranju Marsa.
- Tada je upotrebio termin **planetarni inženjering** – sposobnost menjanja prirodne sredine neke planete da bi na njoj mogli da žive organizmi sa Zemlje.
- U dalekoj budućnosti, putovanja i posete drugim civilizacijama preko međuplanetarnih stanica ili teraformiranih planeta bila bi kraća i efikasnija.



Hiljadugodišnje teraformiranje Marsa

Prosečna ekvatorijalna
temperatura je oko -60°C

Atmosf. pritisak 100 mbara



Nulta g.

100 god.

1 Projekat od 1000 god. Serija misija od po 18 meseci. Put od Zemlje do Marsa trajao bi 6 meseci. Svaka posada dodavala bi bazi nov modul za stanovanje.

2 Atmosfera bi bila obogaćena sublimacijom CO_2 iz tla i polarnih kapa, koji bi se grejali pomoću orbitirajućih ogledala, preusmerenih meteorita ili postrojenja na tlu. Pojačani efekat staklene bašte dodatno bi grejao planetu.

Hiljadugodišnje teraformiranje Marsa

Zemlja



Mars



÷ Prosečna
ekvatorijalna
temperatura
-20°C

PERIOD OBRTANJA (DAN)	23,9 SATI	24,6 SATI
PERIOD REVOLUCIJE (GODINA)	365,2 DANA	686,9 DANA
PROSEČNA TEMPERATURA	15°C	-63°C
ATMOSFERSKI PRITISAK	1,013 MILIBARA	6 MILIBARA
PR. UDALJENOST OD SUNCA	149 MILIONA KM	229 MILIONA KM
NAGIB OSE	23,5°	25°
GRAVITACIJA	1 G	0,4 G

÷ Atmosferski pritisak 400 mbar



Kasnije kupole
za bašte i stanovanje

Rane kupole
za bašte

200 god.

600 god.

3 Kiša bi pala i voda bi potekla kada CO₂ omogući dovoljno visoke pritisak i temperaturu. Mikrobi, alge i lišajevi započeli bi kultivisanje pustinjskog tla.

4 Kada mikrobi stvore organsko tlo i kiseonik u atmosferi uvele bi se biljke cvetnice. U kasnijoj fazi teraformiranja počelo bi se sa sađenjem šuma.

Hiljadugodišnje teraformiranje Marsa

÷ Prosečna ekvatorijalna
temperatura +4°C

÷ 50% ugljen-dioksid
40% azot
5% kiseonik
5% ostali gasovi
Atmosferski pritisak
500 milibara

Nuklearna
elektrana



900 god.

5 Energija za gradove dobijala bi se iz vetrenjača i fuzionih elektrana.

1000, god.

6 Stanovnici Marsa kretali bi se sa skafandrima. Procenat kiseonika bio bi nizak milenijumima. Protokom geološkog vremena teraformirana atmosfera bi disipirala i Mars bi se ponovo zaledio.



THE GREEN MARS

Terraforming of Mars

Building up the atmosphere

- Increasing the pressure
- Changing air chemical composition
 - Importing ammonia
 - Importing hydrocarbons
 - Importing hydrogen
 - Using fluorine compounds



Building up water content

- Water sources
 - Melted ice
 - From nearby asteroids
 - Artificial rains (after heating up the planet)



Heating up the planet

- Enhancing greenhouse effect
 - Orbiting space mirrors
 - Nuclear weapons
 - Imported fossil fuels
 - Guided asteroids to hit Mars




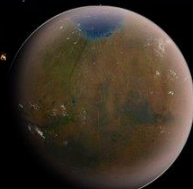

Planting Mars

- By importing
 - Synthetic microbes
 - Genetically engineered seeds



Mars colonization

- Megascale engineering
 - Laser-propelled spaceships
 - Building cities on Mars
 - 3D printed homes

DURATION	90 Years	120 Years	150 Years	50 Years	70 Year
COST	500 Billion USD	700 Billion USD	900 Billion USD	300 Billion USD	1.5 Trillion USD
					



www.facebook.com/hashem.alghaili

h.biotechnology@ymail.com



Da li smo sami?

- U Mlečnom Putu ima između 100 i 300 milijardi zvezda.
- Proračuni ukazuju da u Kosmosu ima preko 100 milijardi galaksija.
- Iako je, statistički gledano, verovatnoća za nastanak života na nekom kosmičkom objektu mala, teško je i zamisliti da život postoji samo na Zemlji.
- Zemlja ima kompleksnu biosferu zbog niza pobrojanih uslova, međusobno nezavisnih, čija ispunjenost u Galaksiji ipak nije tako česta.
- S obzirom na broj zvezda u Kosmosu, sigurno da ima mnogo mesta na kojima je moguć jednostavan oblik života, ali je složen život najverovatnije retka pojava.
- Naučnici iz tzv. Potsdamske grupe (Von Bloh i ostali) navode da su kompleksne biosfere oko 100 puta ređe od samih nastanjivih planeta
- Odgovor na pitanje iz naslova... nadamo se uskoro 😊

Pitanja...

- **dr Milan Milošević**

Departman za fiziku
Prirodno-matematički fakultet

- mmilan@svetnauke.org
www.mmilan.com

- Departman za fiziku PMF-a
<http://fizika.pmf.ni.ac.rs>
www.facebook.com/fizika.nis

- Astronomsko društvo Alfa
<http://www.alfa.org.rs>
www.facebook.com/alfa.nis

- Svet nauke
www.svetnauke.org
www.facebook.com/svetnauke.org

