



Druga Škola prirodnno-matematičkih nauka
23. novembar 2024, PMF

Život u svemiru (ekstrasolarne planete)

Dr Milan Milošević

*Departman za fiziku
Prirodno-matematički fakultet u Nišu*

Život van Zemlje?



Najznačajnija pitanja o životu:

- **NASA** (1998) – tri kanonska pitanja vezana za fenomen života na Zemlji i u Kosmosu :
 1. Kako život nastaje u kosmičkom kontekstu?
 2. Postoji li život van Zemlje i kako ga otkriti?
 3. Kakva je budućnost života i razuma u kosmosu?
- **Aristotel**
 - Neživi, biljni i životinjski svet

Astrobiologija

- Pokušava da nađe odgovore na kanonska pitanja
- Ime - od starogrčkih reči *ἀστρον* (zvezda) *βίος* (život) *λογία* (nauka)
- Često se koristi termin egzobiologija ('Εξω- spolja, van)
 - uveo molekularni biolog Džošua Lederberg.
 - Astrobiologija je širi pojam, i razmatra život na Zemlji i u čitavom svemiru kroz njegov nastanak i evoluciju;
 - Egzobiologija ograničava samo na život izvan Zemlje.
- Gradeći svoju metodologiju astrobiologija se zasniva na saznanjima i zakonima, pre svega **astrofizike i biologije**, ali i fizike, hemije, planetologije, ekologije, geologije, molekularne biologije, itd.

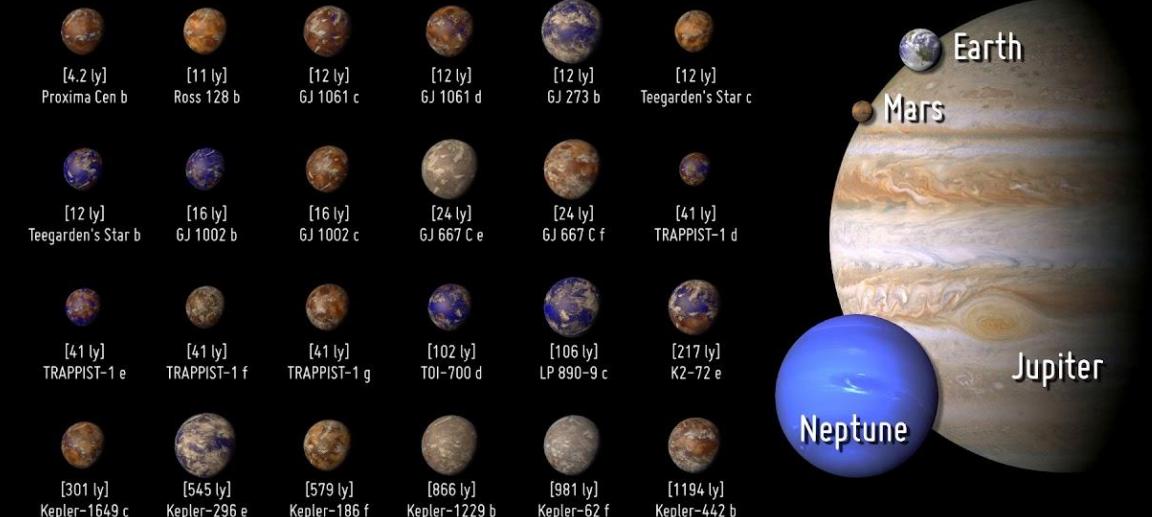


Astrobiologija

- Mlada nauka
 - bavi se „eonski“ starim pitanjima
- Poslednjih 30 godina
 - buran razvoj, dospeva u žiču naučne i šire javnosti
- Otkriće ekstrasolarnih planeta !!!
 - Neke slične Zemlji, kruže oko zvezda sličnih Suncu
- Danas (4. mart 2024) – 5640 potvrđenih planeta, 4155 planetarnih sistema (2750 planeta - kandidata)
 - <http://exoplanet.eu/catalog/>
 - „nekoliko“ Zemljinog tipa
 - Više superzemlje – masa 5-10 puta veća
 - U galaksiji veliki broj planeta koje mogu da budu „nastanjene“

Potentially Habitable Exoplanets

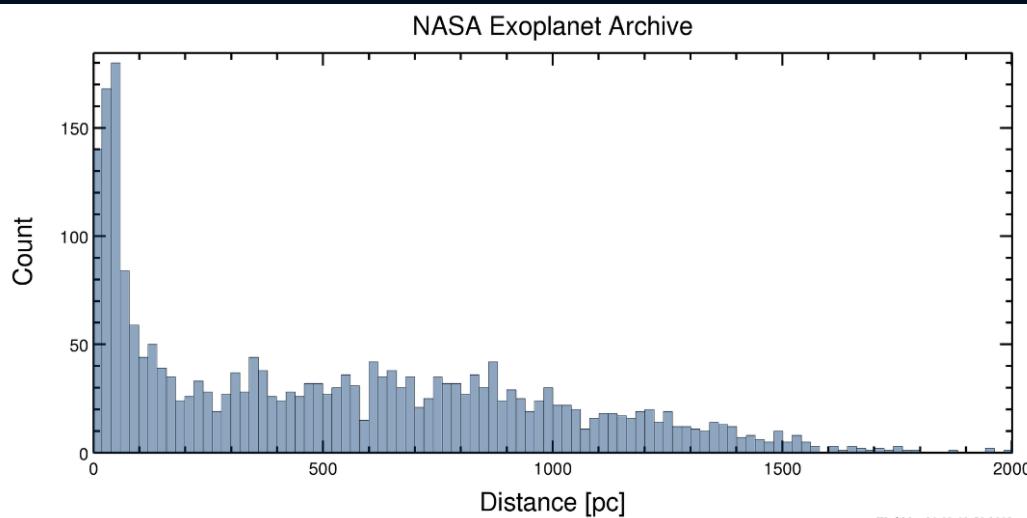
Sorted by Distance from Earth



Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance from Earth in light years (ly) is between brackets.

CREDIT: PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) Jan 5, 2023

NASA Exoplanet Archive



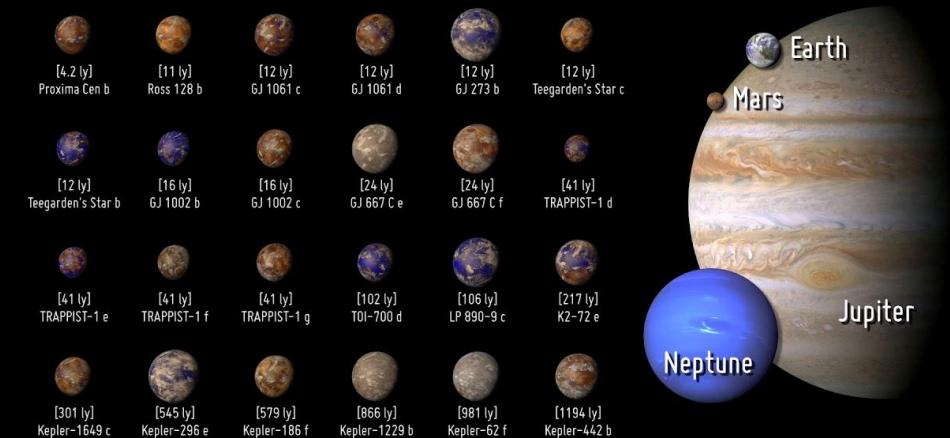
Wed Mar 21 09:19:59 2018

Astrobiologija

- Januar 1992 – prva planeta oko pulsara
 - 2300 svetlosnih godina; Pulsevi na 0.006219 sekundi, nekad nepravilni
 - Dve planete, 3 i 4 puta masivnije od Zemlje; period 67 i 98 dana
- Oktobar 1995 – planeta oko G-zvezde, 51-Pegaz (2019. Nobelova nagrada). U početku „vreli Jupiteri“
- 4. mart 2024 – **5587** potvrđenih otkrića
 - https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts_detail.html
- Ukupno 69 nastanljivih (1. februar 2024):
 - 29 kao Zemlja (0,5 do 5 masa, 0,8-1,5 radijusa)
 - 3 manje od Zemlje (kao Mars)
 - 40 superzemlje, vodeni svetovi ili mini-Neptuni (5-10 masa, 1,5-2,5 radijusa)
 - <https://phl.upr.edu/hwc>

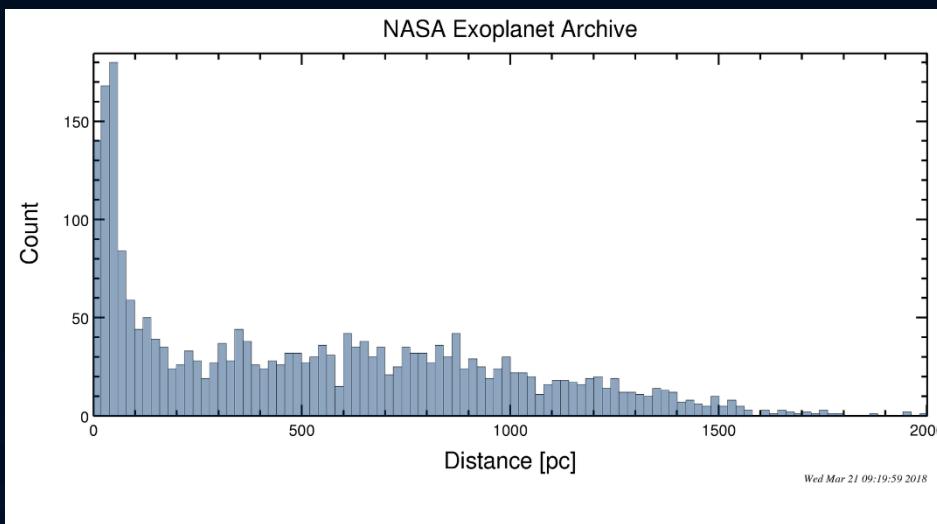
Potentially Habitable Exoplanets

Sorted by Distance from Earth



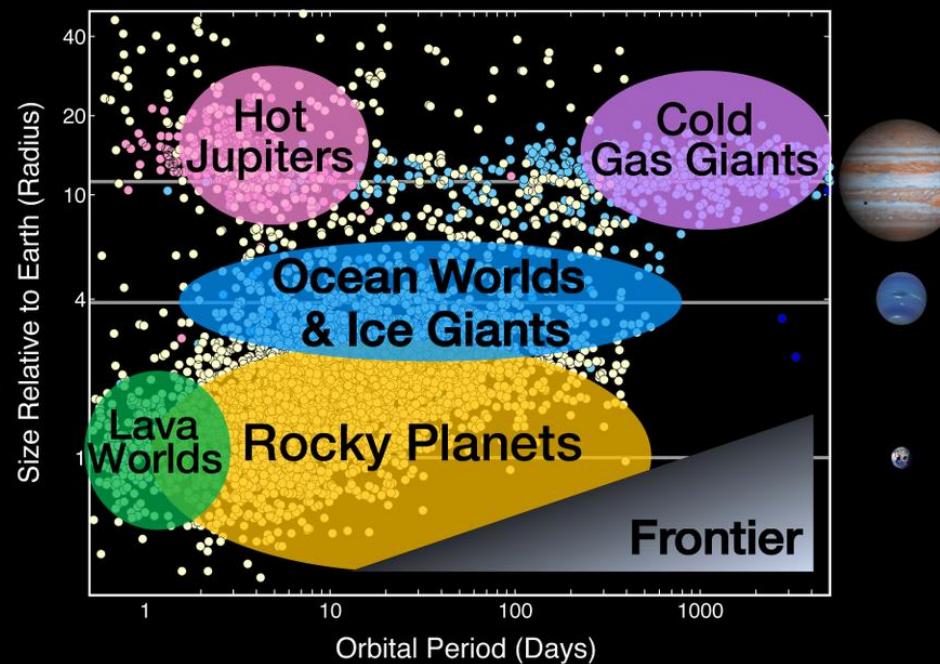
Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance from Earth in light years (ly) is between brackets.

CREDIT: PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) Jan 5, 2023



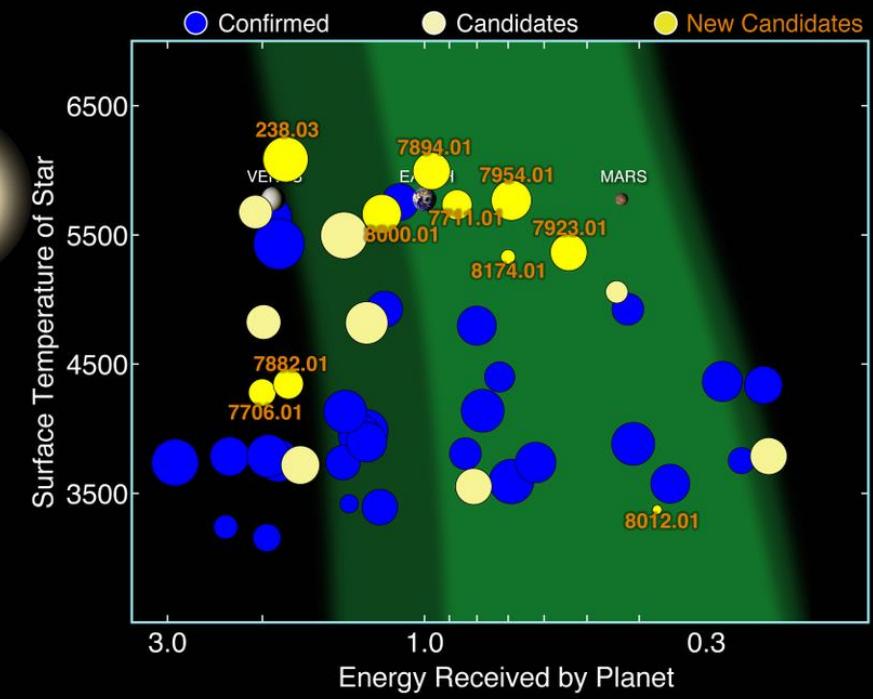
Ekstrasolarne planete

Exoplanet Populations

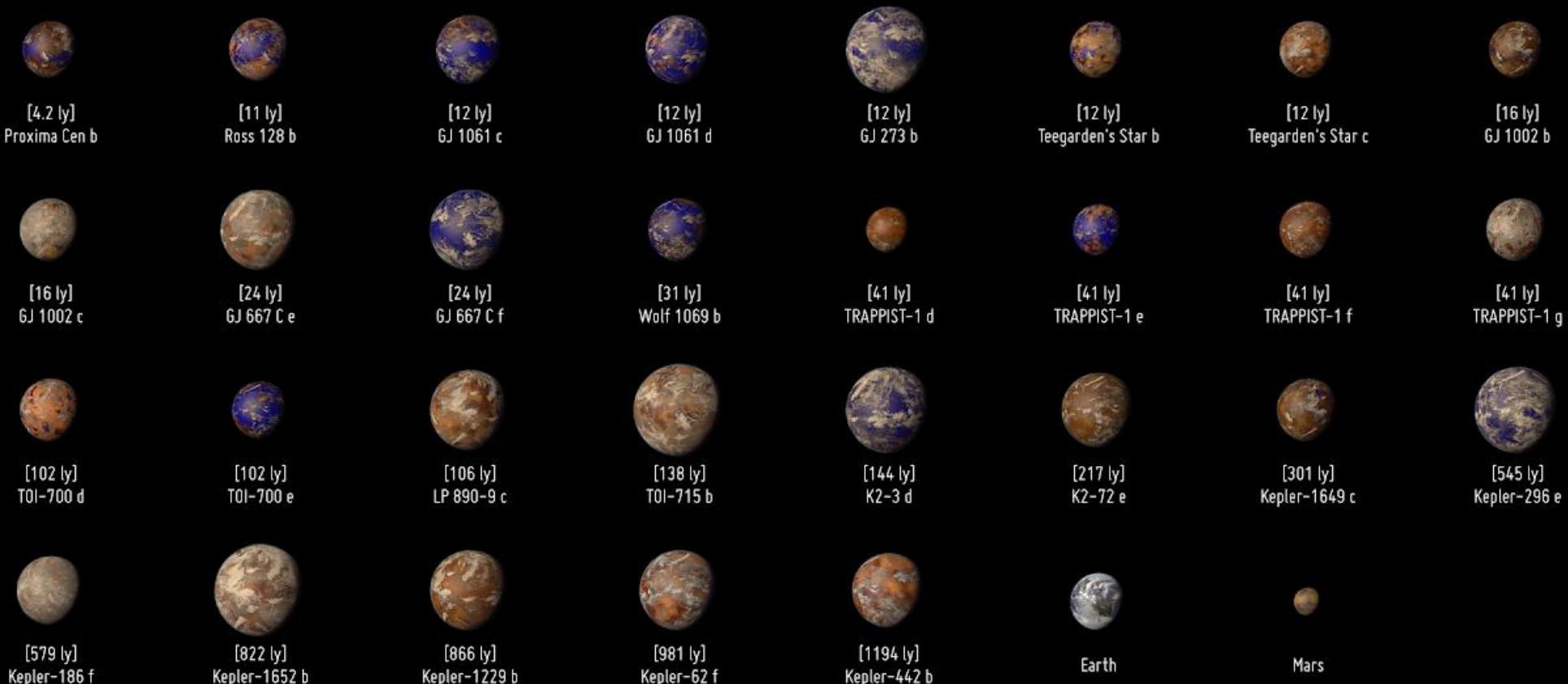


Kepler Habitable Zone Planets

As of June 2017



Potentially Habitable Worlds

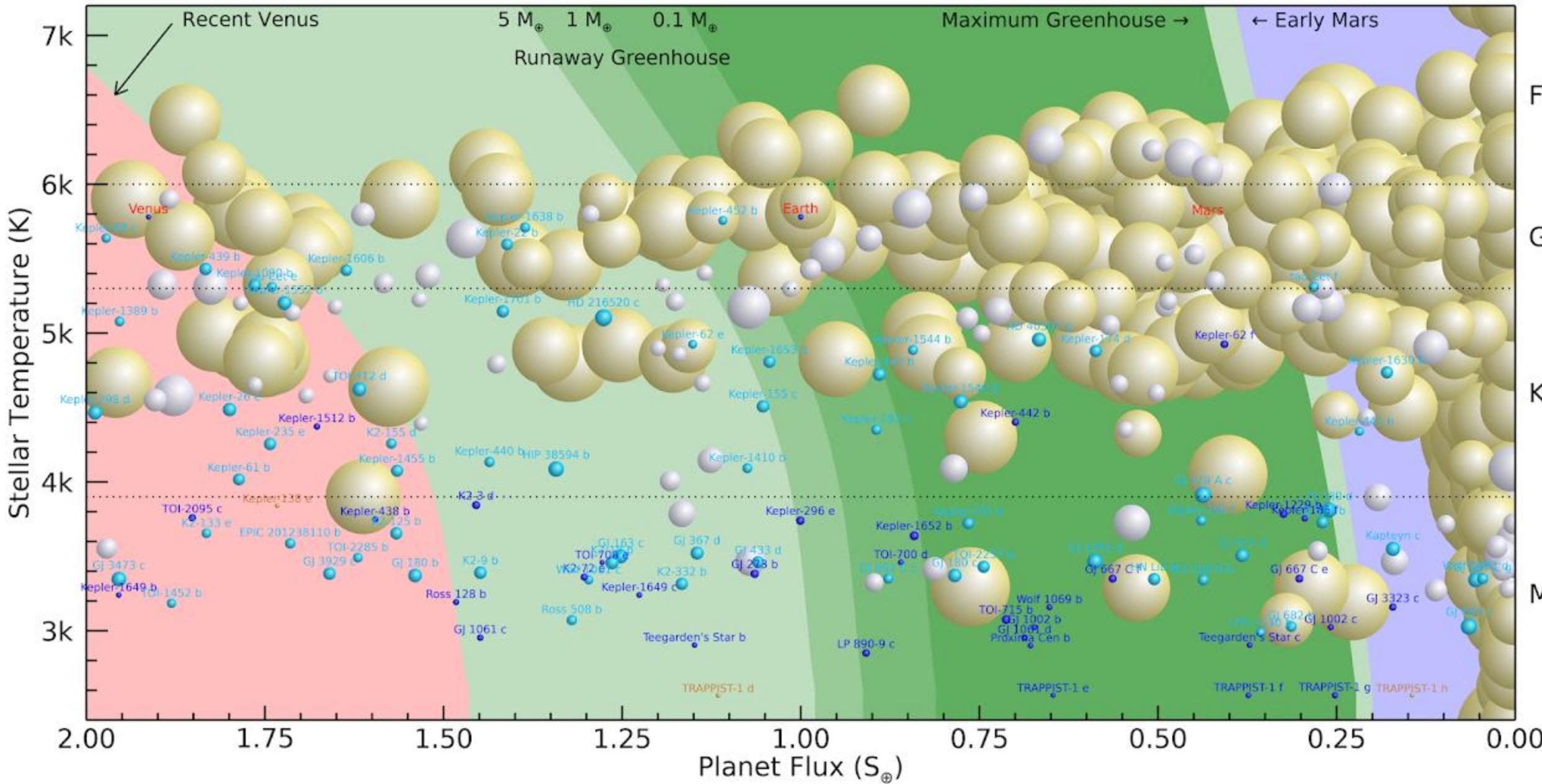


Artistic representations. Earth and Mars for scale.

Planets are organized in order of their increasing distance from Earth (shown between brackets in light-years).

CREDIT: The Habitable Worlds Catalog, PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) Jan 2024

<https://phl.upr.edu/hwc>



• Subterranean
(Mars-sized)

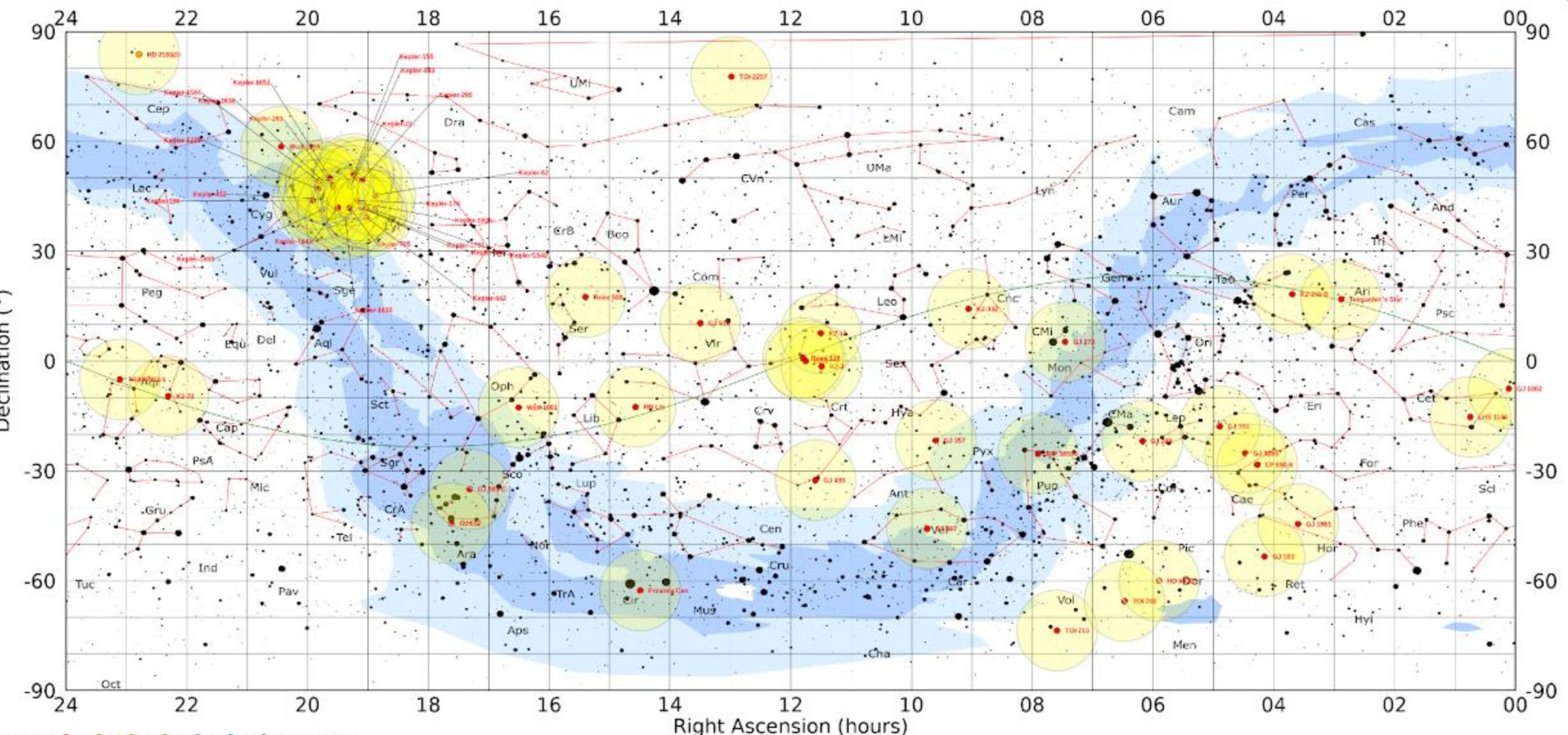
• Terran
(Earth-Sized)

• Superterranean
(Super-Earth/Mini-Neptunes)

• Neptunian
(Neptune-Sized)

• Jovian
(Jupiter-Sized)

Location of the Stars with Potentially Habitable Worlds



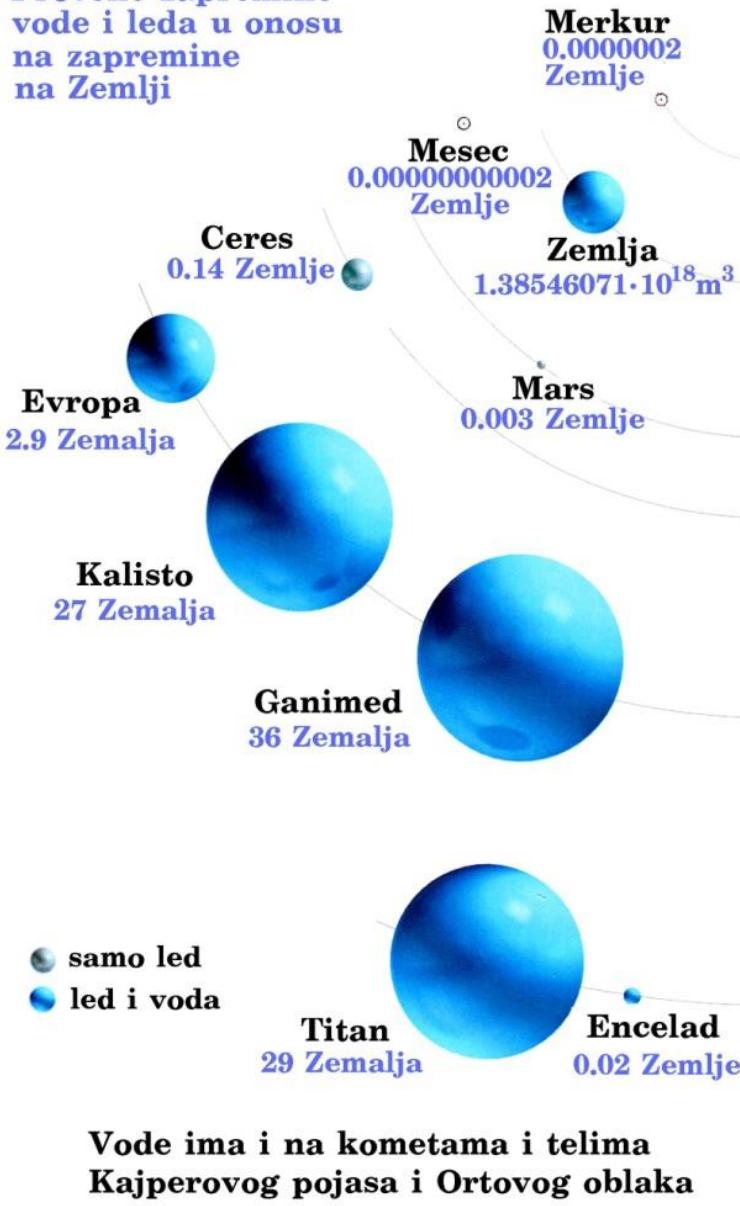
Star Type: ● M ○ K ○ G ○ F ○ A ○ B ○ other/unknown

Astrobiologija

- Otkriće vode (u svim agregatnim stanjima)
 - Neka tela Sunčevog sistema
 - Zaledena u kraterima na Mesecu (polovi), u stenama bliže ekvatoru; permafrost na Marsu
 - Voda – univerzalni organski rastvarač
 - Izuzetno bitan faktor za nastanak živih organizama
 - Na nekim članovima Sunčevog sistema ima znatno više vode nego na Zemlji
 - Jupiterovim satelitima Evropi, Ganimedu i Kalistu
 - Saturnov satelit Titan
 - Vode ima u kometama, asteroidima, meteoroidima
 - U ogromnim količinama, u vidu pare,
 - u protozvezdanim oblacima gasa ili u obliku kristalića leda u interstelarnim oblacima gasa i prašine

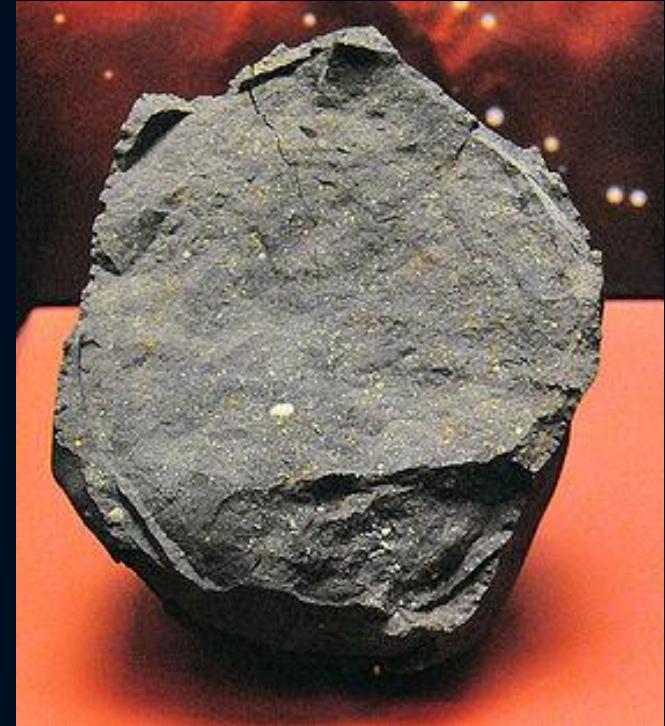
VODA U SUNČEVOM SISTEMU

Procene zapremine
vode i leda u onosu
na zapremine
na Zemlji



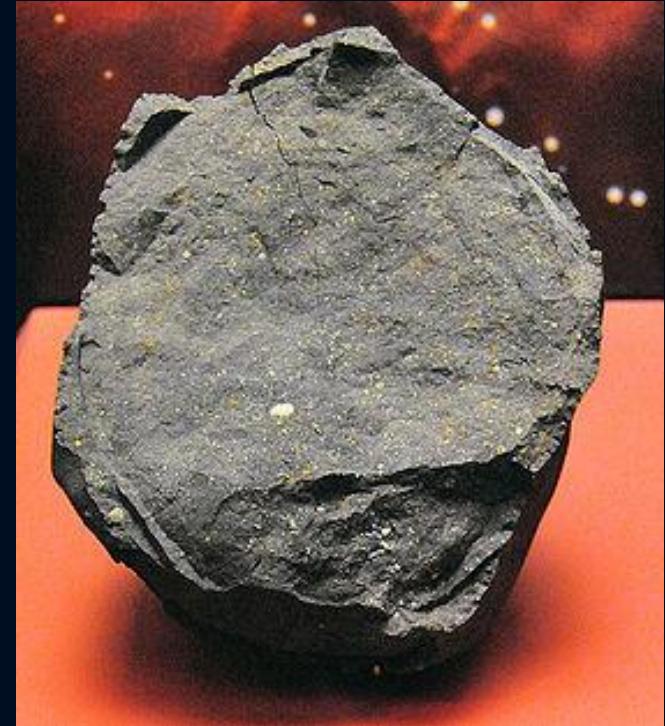
Astrobiologija

- Otkriće organskog materijala u Sunčevom sistemu
- Metanska jezera i ugljovodonične dine na Titanu
- Meteoriti na Zemlji – složena organska jedinjenja
 - Aminokiseline u Marčison meteoritu (Australija)
- Analize pokazale da organskog materijala ima u kometama

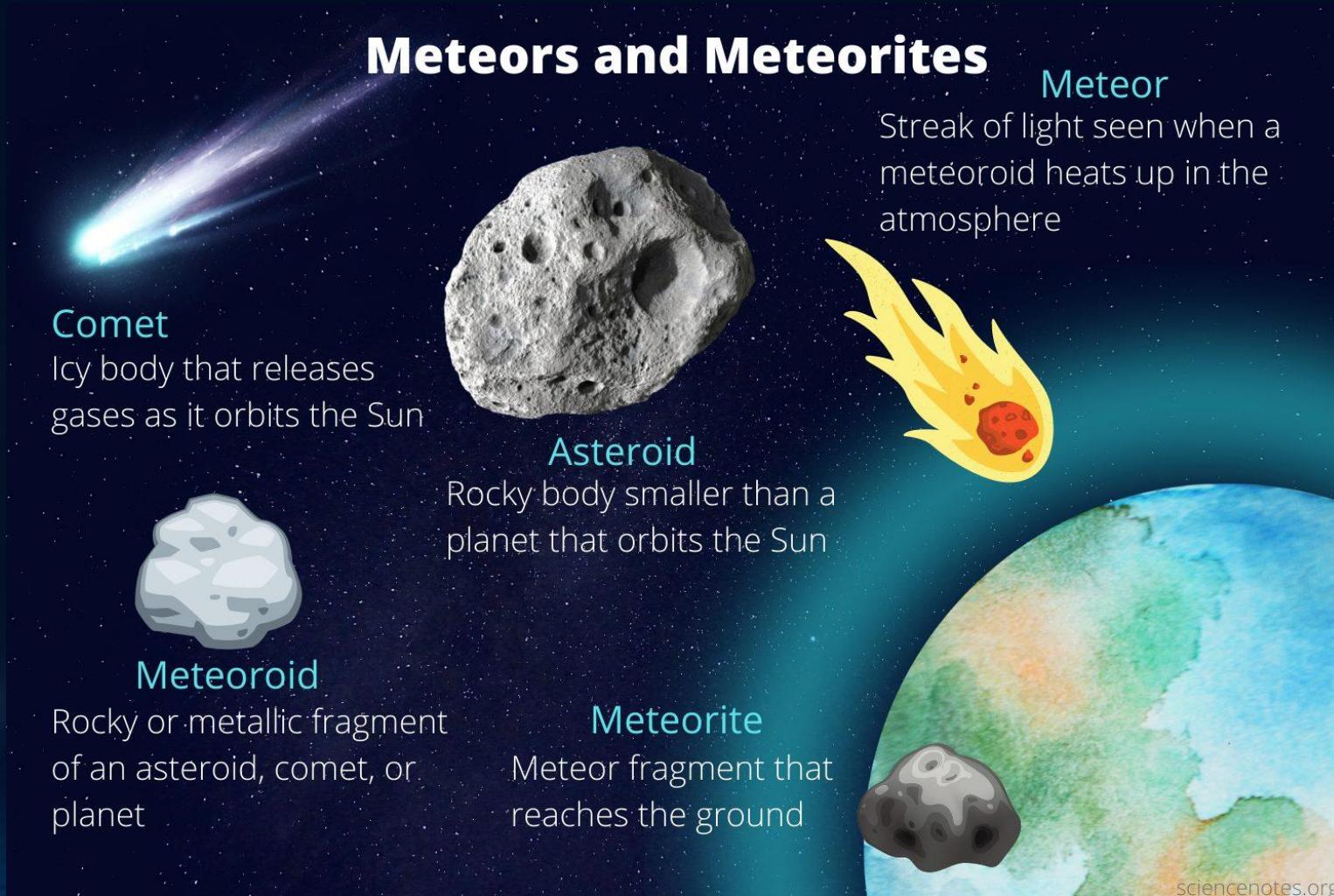


Astrobiologija

- Pojačano interesovanje za astrobiologiju
- Marčison meteorit – 28. septembar 1969, „pokupljena“ masa 100 kg (ukupna masa svih delova, koriste „trgovci“). Samo deo ukupne mase meteorida koji je uleteo u atmosferu
- Najveći komadi do 7 kg, jedan od 680 g probio krov
- 22% gvožđe, 12% voda
- 2010 godine – 14000 molekularnih jedinjenja, 70 aminokiselina (limit opreme, procena čak 50000 ili više organskih jedinjenja)

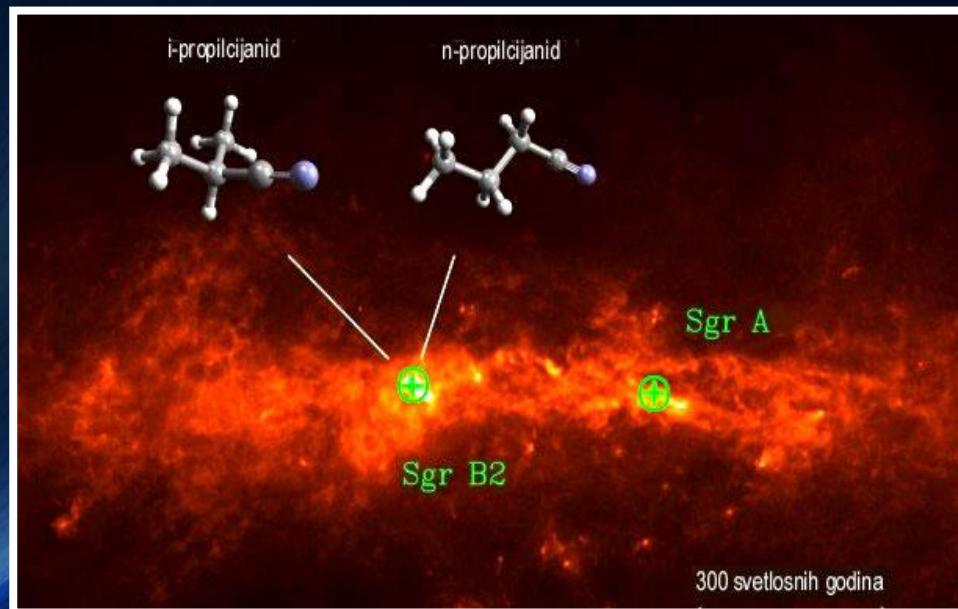


Meteorid, meteor, meteorit



Galaksija

- U galaktičkim međuzvezdanim oblacima gasa i prašine detektovane su ogromne količine različitih organskih jedinjenja.



Molekuli detektovani u galaktičkim oblacima

Prosti hidridi, oksidi, sulfidi, halidi i srodnici molekula

H ₂	CO	NH ₃	CS	NaCl
HCl	SiO	SiH ₄	SiS	AlCl
H ₂ O	SO ₂	CC	H ₂ S	KCl
	OCS	CH ₄	PN	AlF

Nitrili, acetilinski derivati i srodnici molekula

HCN	HC ₃ N	CH ₃ C ₃ N	CH ₃ CH ₂ CN	CH ₂ CH ₂
H ₃ CCN	HC ₅ N	CH ₃ CCH	CH ₂ CHCN	CHCH
CCCO	HC ₇ N	CH ₃ C ₄ H	HNC	
CCCS	HC ₉ N		HNCO	
HCCCHO	HC ₁₁ N		HNCS	
	H ₃ CNC			

Aldehidi, alkoholna jedinjenja, eterična jedinjenja, ketoni, amidi i srodnici molekula

H ₂ CO	CH ₃ OH	HCOOH	CH ₂ NH
CH ₂ S	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ COOH	CH ₂ NH ₂
CH ₃ CHO	CH ₃ SH	CH ₃ OCH ₃	NH ₂ CN
NH ₂ CHO		CH ₂ CO	

Ciklični molekuli

C ₃ H ₂	SiC ₂	C ₃ H
-------------------------------	------------------	------------------

Joni

CH	HCO	HCNH
NH ₂	HCOO	SO

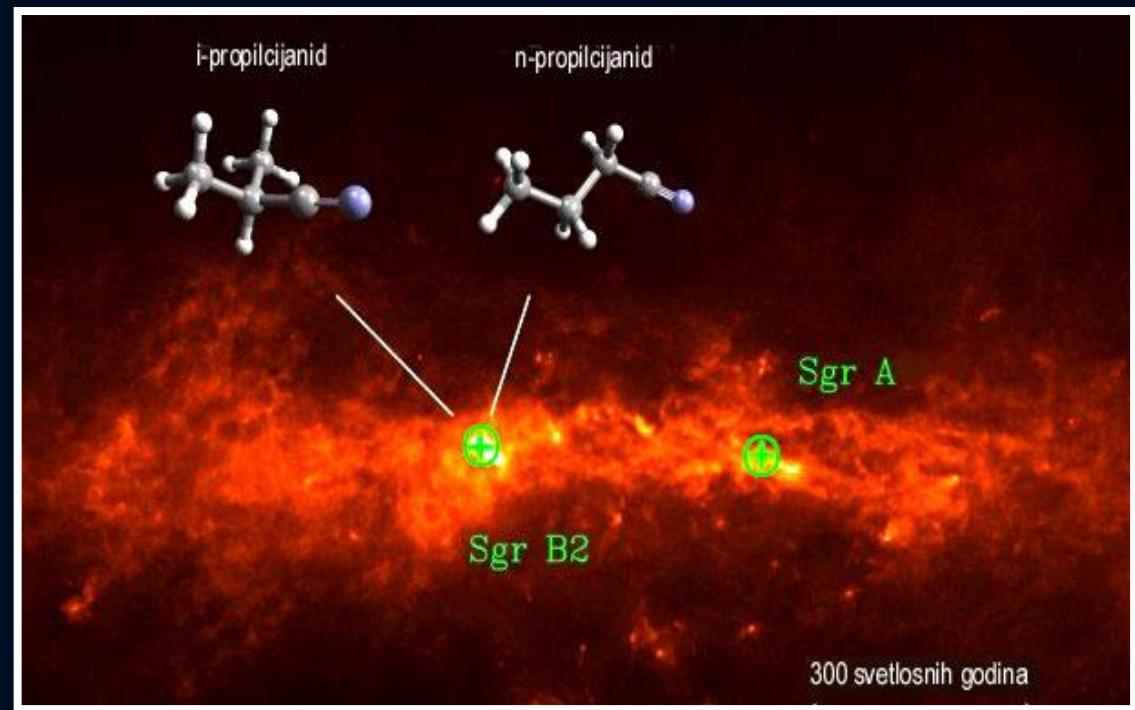
Radikalni

OH	C ₃ H	CN	HCO	C ₂ S
CH	C ₄ H	C ₃ N	NO	NS
C ₂ H	C ₅ H	CH ₂ CN	SO	
	C ₆ H	HSiCC	HSCC	

(Voten, 2002)

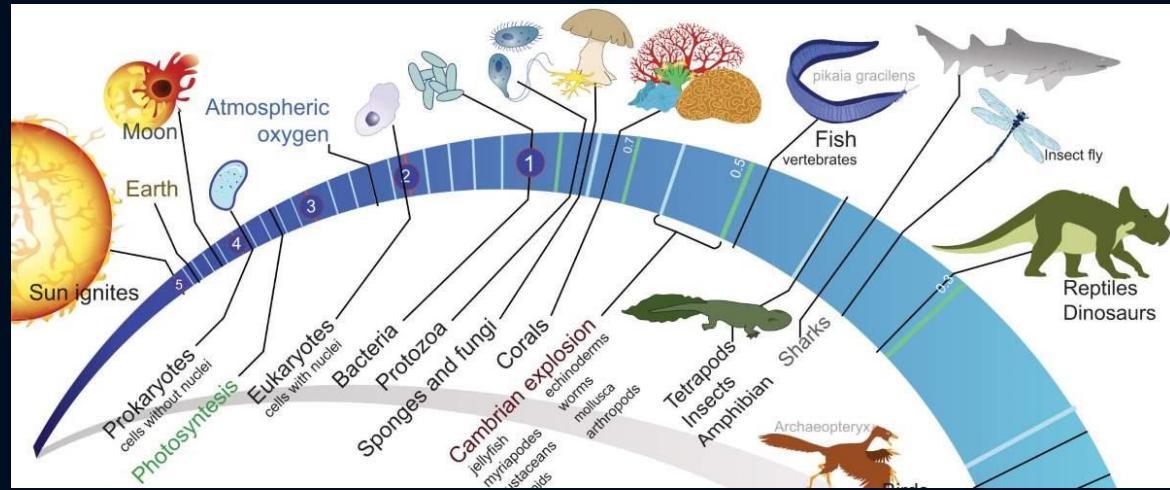
Galaksija

- Molekularni oblak – porodilište zvezda, gustina i dimenzije takvi da omogućavaju nastanak molekula, najčešće H₂. Običan „oblak“ jonizovani vodonik
- Sgr B₂ – ogroman molekularni oblak gasa i prašine, 120 pc od centra galaksije (Sgr A)
 - Najveći oblak u blizini centra, 150 ly prečnik; 3 milijarde masa Sunca (3000 atoma po cm³, 20-40 puta gušći od prosečnog oblaka)
 - Brojni kompleksni molekuli (alkoholi – etanol, metanol)
 - Temperatura 300 K (27 °C) – guta oblast gde nastaju zvezde, 40 K (-230 °C) okolne oblasti



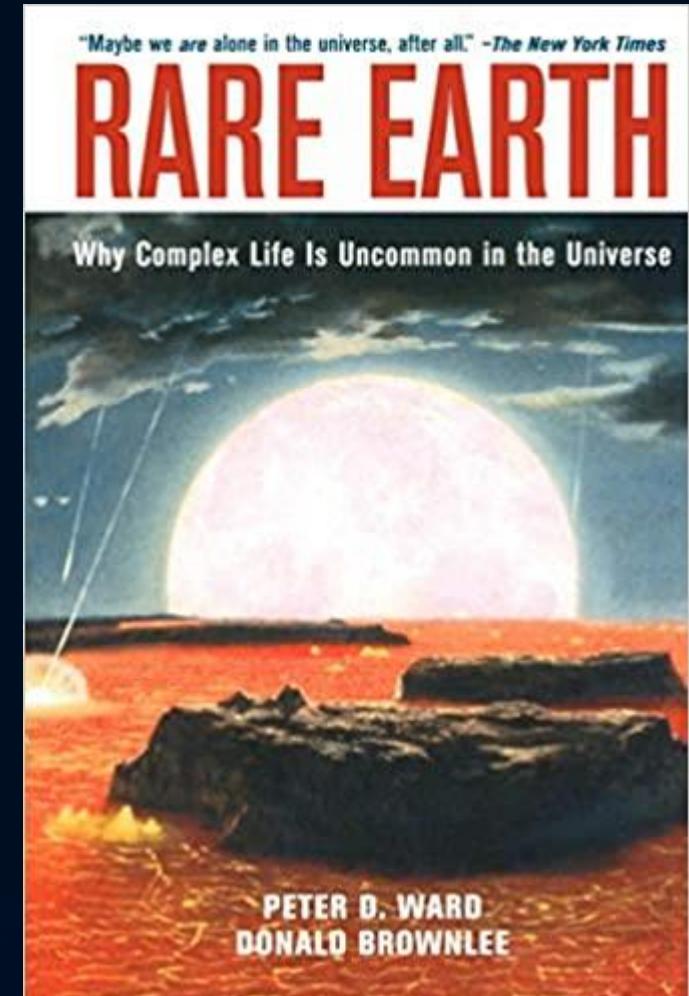
Astrobiologija

- Ova saznanja i univerzalnost fizičkih zakona
 - Zemlja i Sunčev sistem nisu jedinstveni
- Teorije da je život u svemiru neminovna i česta pojava
 - Kopernikanski i antropički princip
- Život na Zemlji:
 - Nastao spontano biohemijskom evolucijom ili
 - Stigao u rudimentarnoj formi iz svemira - teorije panspermije
(Arenijus, Kelvin, Krik, Hojl, Vikramashinge,...)



„Retka Zemlja“

- Pol Dejvis je, u okviru hipoteze hemijske slučajnosti, izračunao da je stvaranje proteina (kao osnovnog gradivnog elementa života na Zemljji) **slučajnim mešanjem amino kiselina** sa verovatnoćom $1:10^{130}$.
- Otuda deluje suvislo njegova pretpostavka da **ako se to već dogodilo**, onda se to u istoriji Vasione desilo samo jednom i to baš na Zemljji, iako se procenjuje da u svemiru ima 10^{20} zemljolikih planeta.
- U to se uklapa hipoteza retke Zemlje (Piter Vord i Donald Braunlij)





Život u svemiru?

- Suprotni stavovi naučnika o učestalosti pojavljivanja života
 - Jedno od kanonskih pitanja!
- Ovakvih kontroverzi u astrobiologiji ima više
 - Očekivano, jer je:
 - Mlada nauka sa složenim predmetom istraživanja
 - Nedovoljno izrađena metodologija
 - Mali broj proverenih i proverljivih podataka i informacija
- Pre potrage za odgovorima na kanonska pitanja astrobiologije...
 - Šta je život?



Šta je potrebno za nastanak života?

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

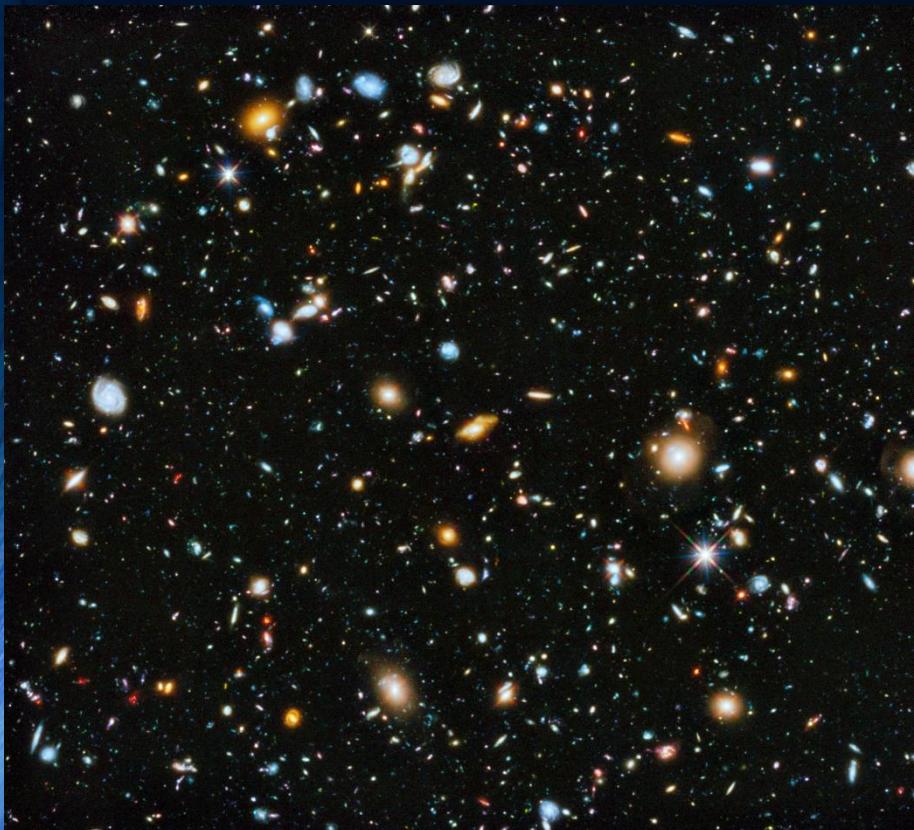
Astrofizička determinisanost života

- (dovoljno vremena)
- Tečna sredina
- Hemijski elementi
- (Trajno) nastanjuje 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...



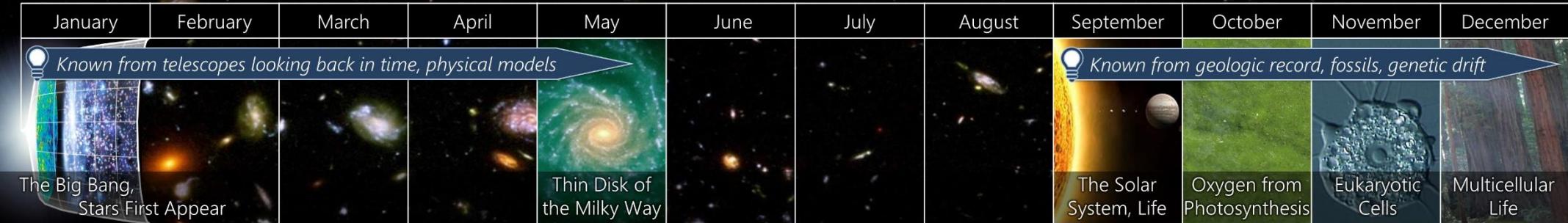
Hubble Extreme Deep Field (XDF)



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

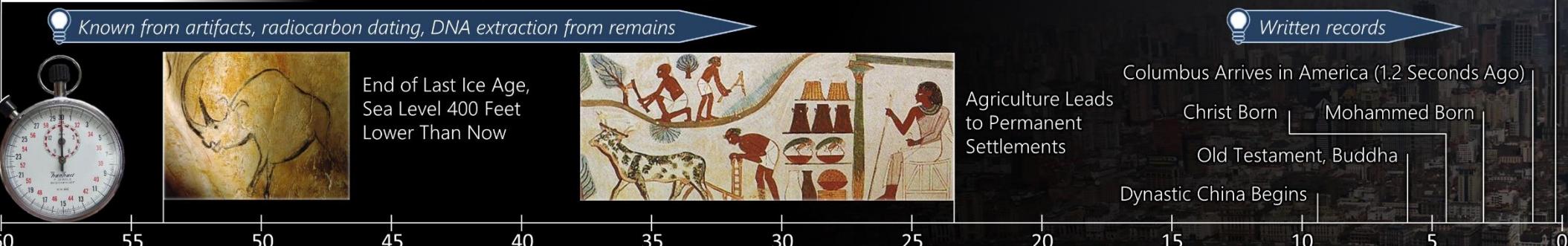


The Month of December...

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...

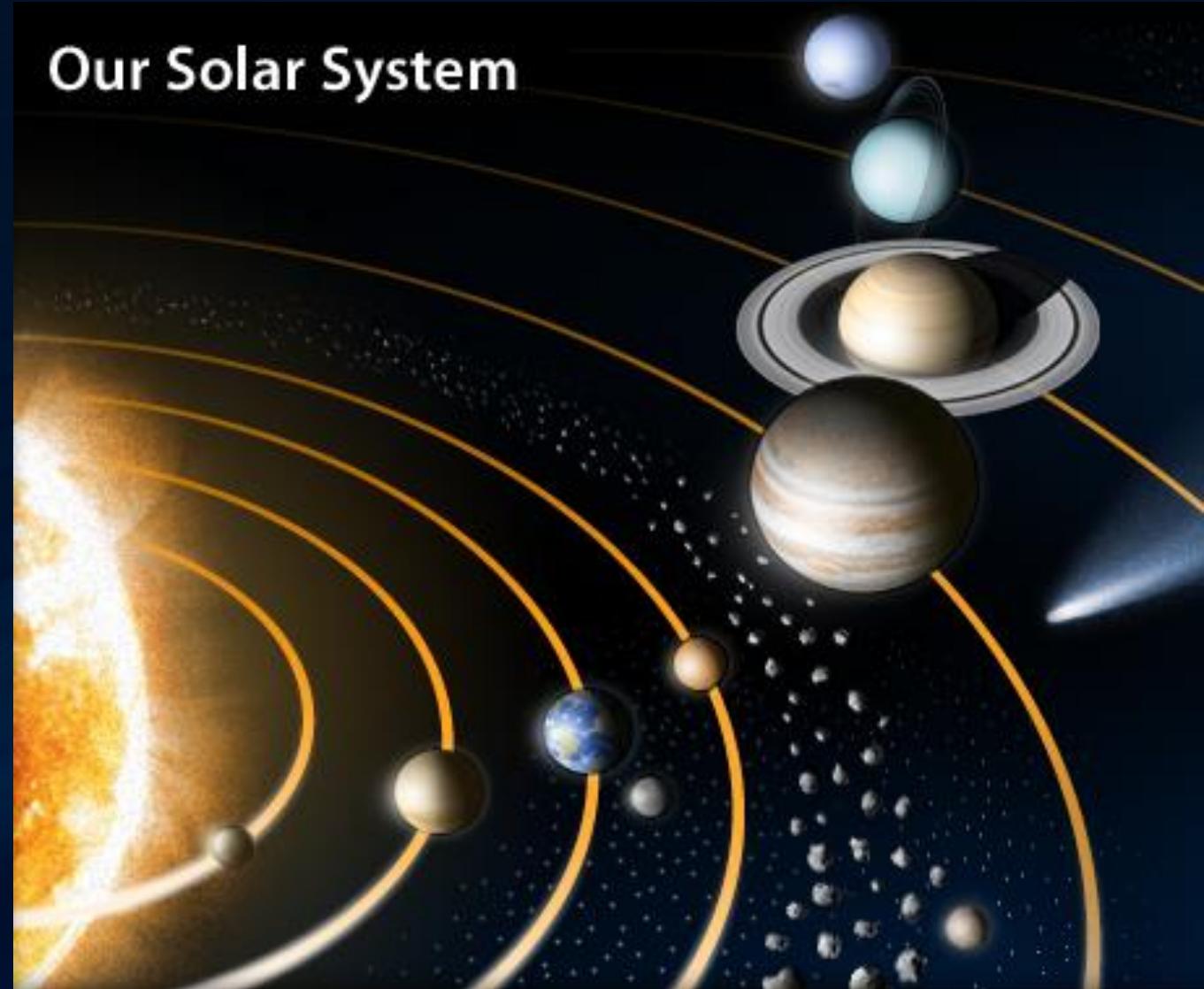
A human life only lasts for the blink of an eye on the Cosmic Calendar: $100 \text{ years} * 365 * 24 * 60 * 60 / 13,800,000,000 = 0.23 \text{ Cosmic Seconds}$



Ekstrasolarne planete

Sunčev sistem

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





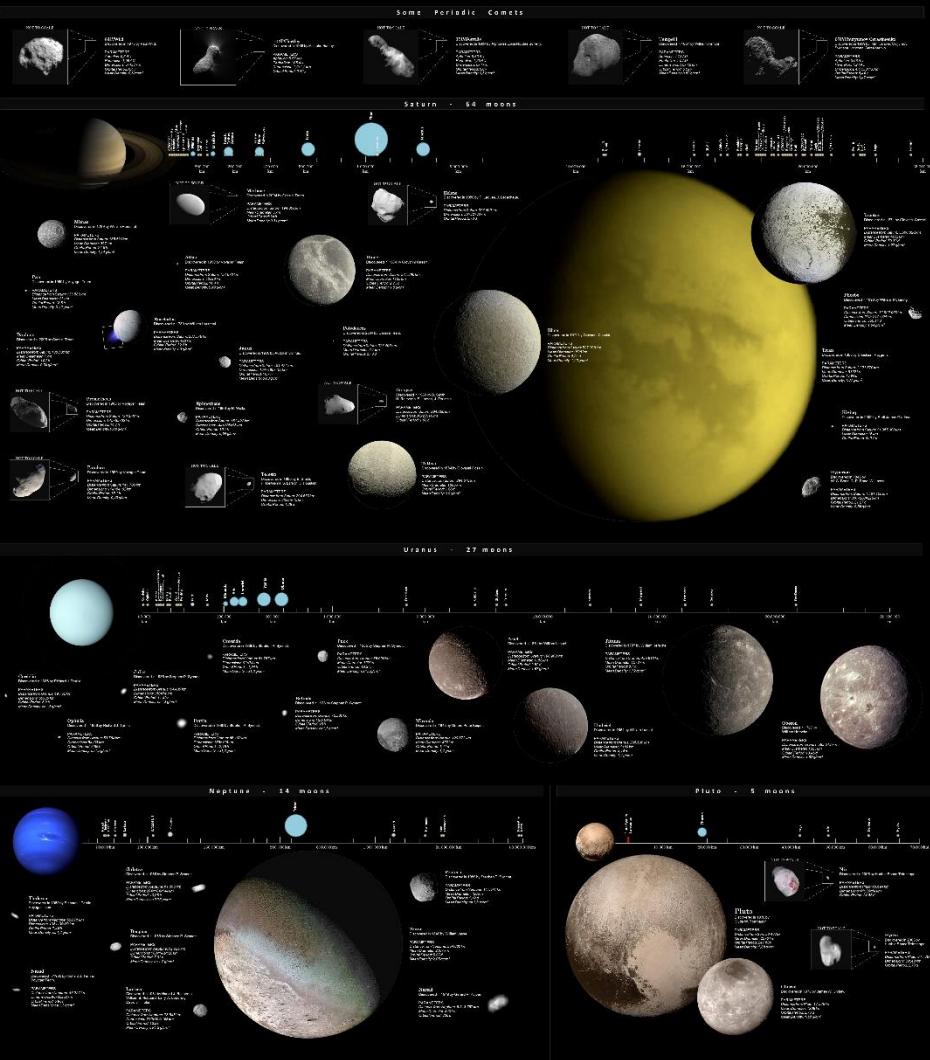
Non-Planet of the Solar System to scale

Dwarf Planets (Ceres & Pluto) – Moons of Planets and Dwarf Planets – Asteroids – Comets

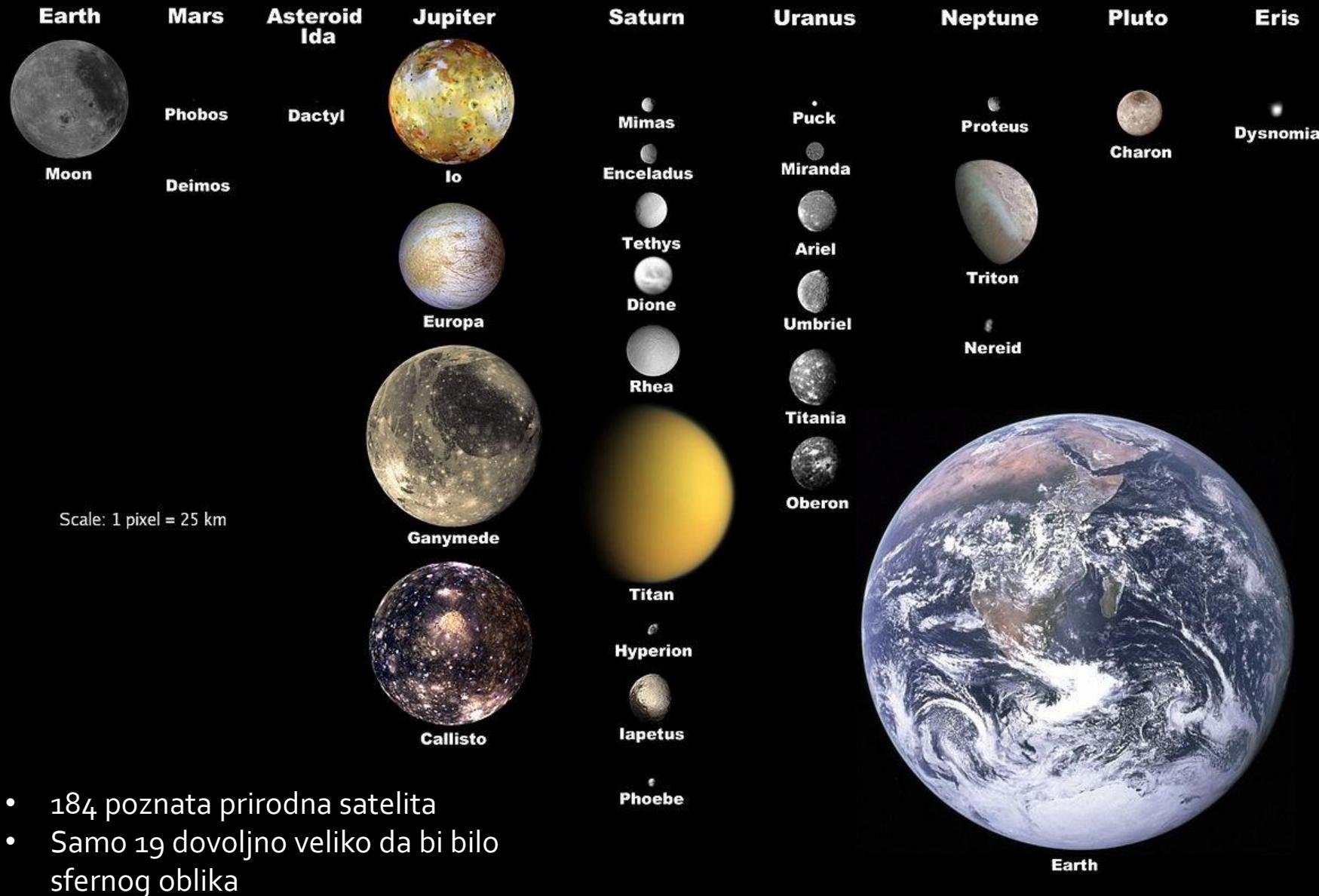
Images from Missions:

Voyager 1 – 2, Hubble Space Telescope, Mars Reconnaissance Orbiter, Deep Impact-EPOXI, Stardust, Galileo, Near-Shoemaker, Cassini, Rosetta, Dawn, New Horizons

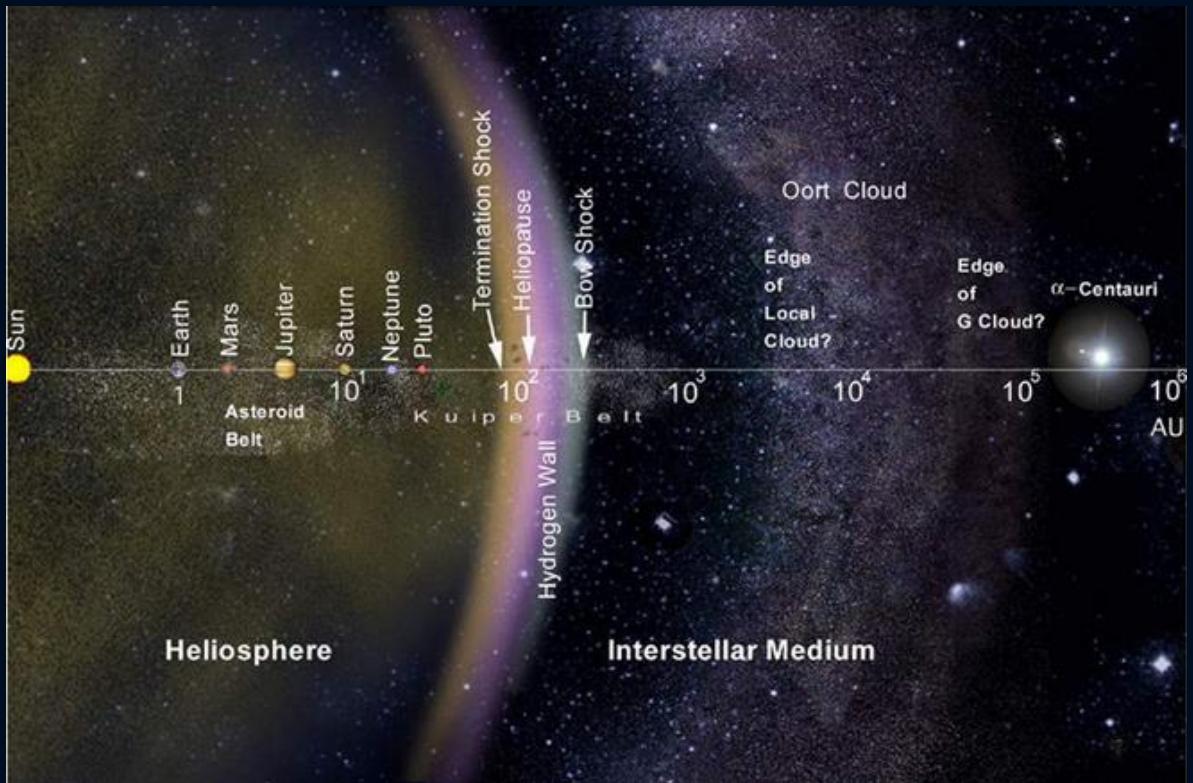
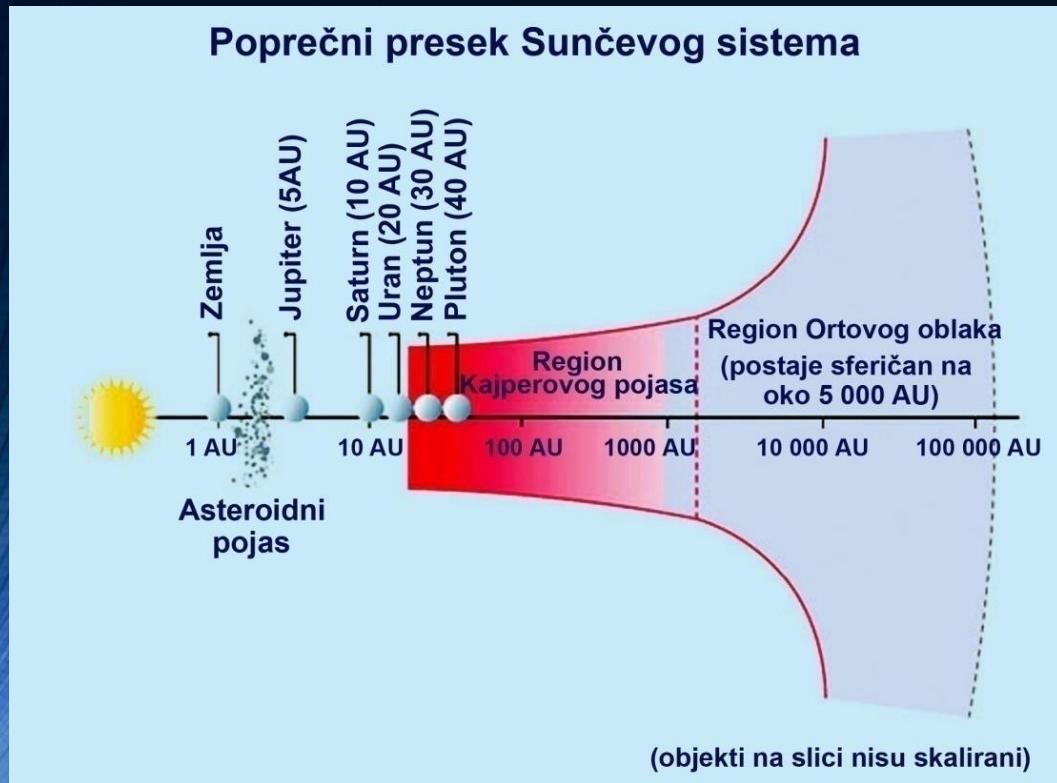
THE REPRESENTATION BETWEEN MOONS & PLANET ON DISTANCE LINE AND PLANET & PLANET OF DISTANCE LINE IS NOT TO SCALE



Selected Moons of the Solar System, with Earth for Scale



„Granica“ Sunčevog sistema

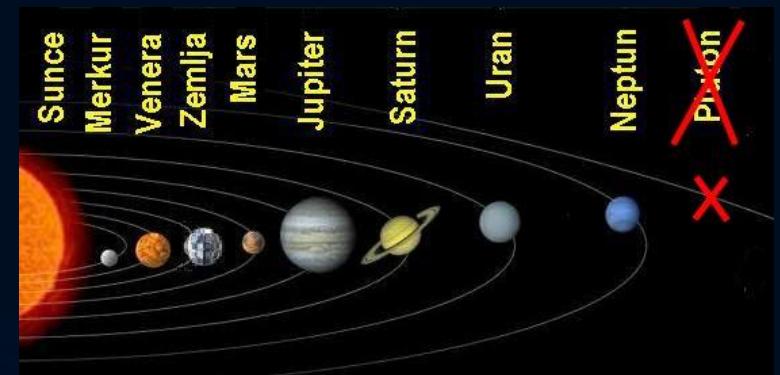


Planete

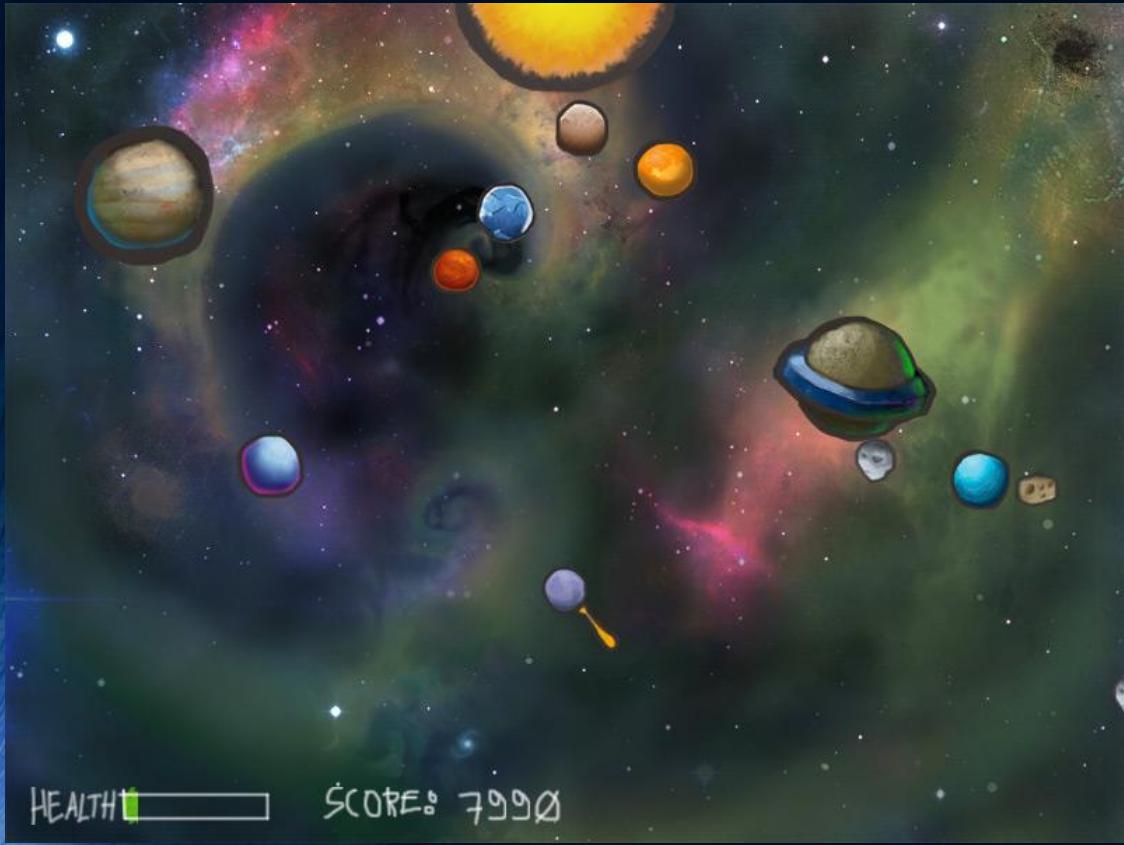
- Definicija – hladna tela???
 - Nije baš tako – Jupiter, Saturn, Zemlja – emituju malo „toplote“
- Generalna skupština MAU, avgust 2006. godine u Pragu – definicija:
Nevesko telo koje:
 - se nalazi u orbiti oko Sunca:
 - Ima dovoljno veliku masu da gravitacija obezbedi sferan oblik
 - „Raščistilo“ je okolinu duž svoje orbite

Koliko ima planeta?

- Najmanje 6 (antički filozofi)
- Najviše 9 (do 2006. godine)
- I više... ali to je neka druga tema ☺
- Otkrića:
 - Uran 1781. (W. Herschel)
 - Neptun 1846. (Le Verrier, Galle)
 - Pluton 1930. (Tombaugh)

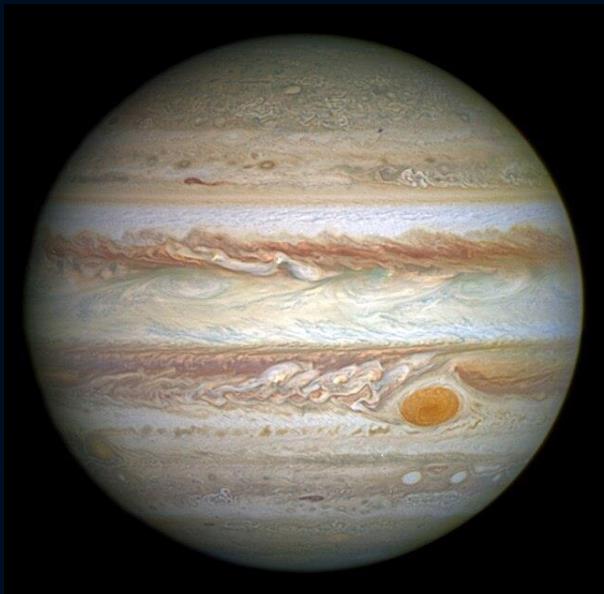
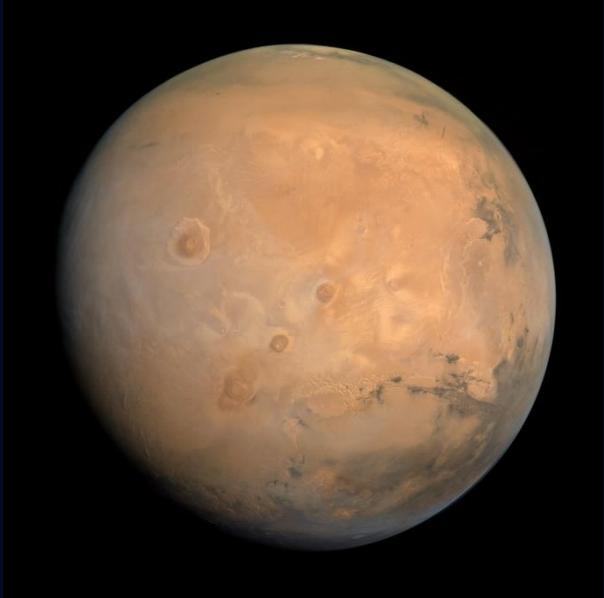


Pluton užvraća udarac ☺



Dva tipa planeta

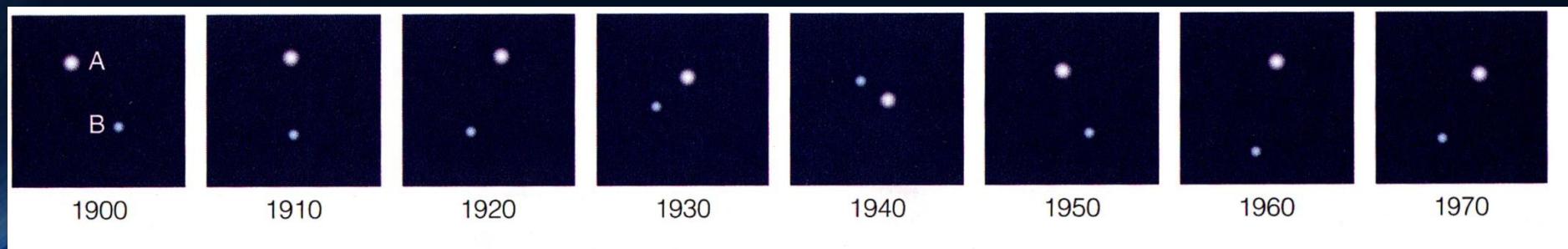
- Zemljin tip
 - Merkur, Venera, Zemlja i Mars
 - Manjih dimenzija i masa, veće gustine, tanjih i ređih atmosfera, sa malim brojem satelita, sporijom rotacijom oko sopstvene ose i brzom revolucijom oko Sunca. Magnetna polja (osim Zemljinog) su slaba.
- Jupiterov tip
 - Jupiter, Saturn, Uran i Neptun
 - Džinovske, velikih dimenzija i masa, ali malih gustina (tečno-gasovite; svetovi bez površine). Imaju prostrane i gусте atmosfere koje postepeno prelaze u osnovno telo. Poseduju veliki broj satelita. Magnetna polja su jaka.



Kretanje zvezda?

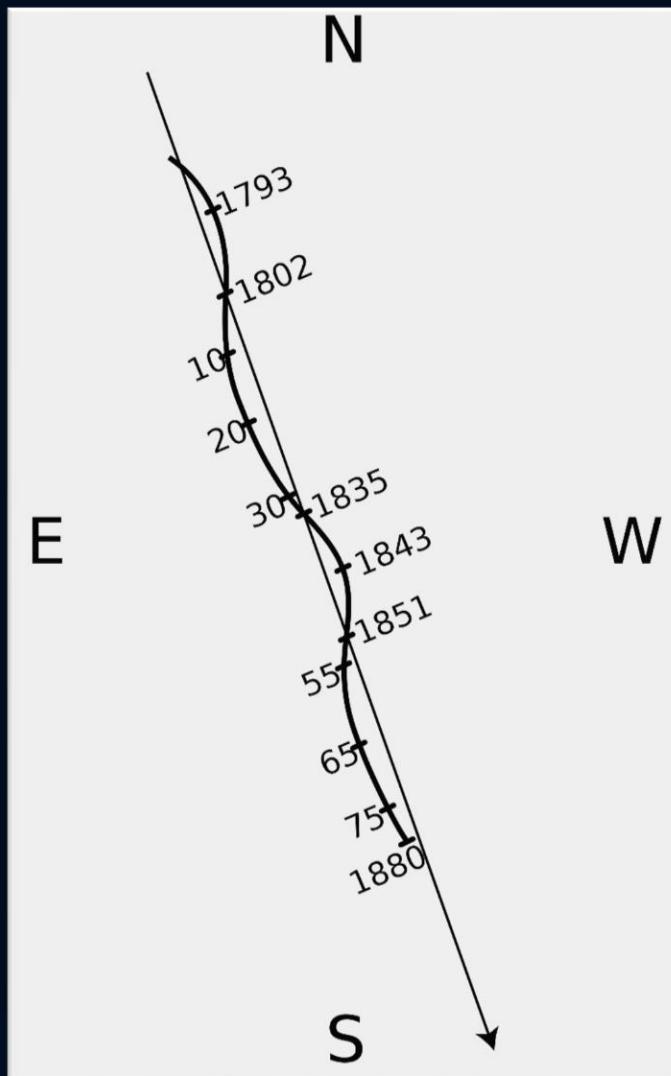
Bernardova zvezda

- Prividno (dnevno i godišnje) – rotacija i kretanje Zemlje
- Stvarno međusobno kretanje zvezda
- Halej (pre tri veka) zabeležio kretanje Sirijusa
- Sistematsko, višedecenijsko snimanje i posmatranje
- Najlakše registruje kod bliskih zvezda

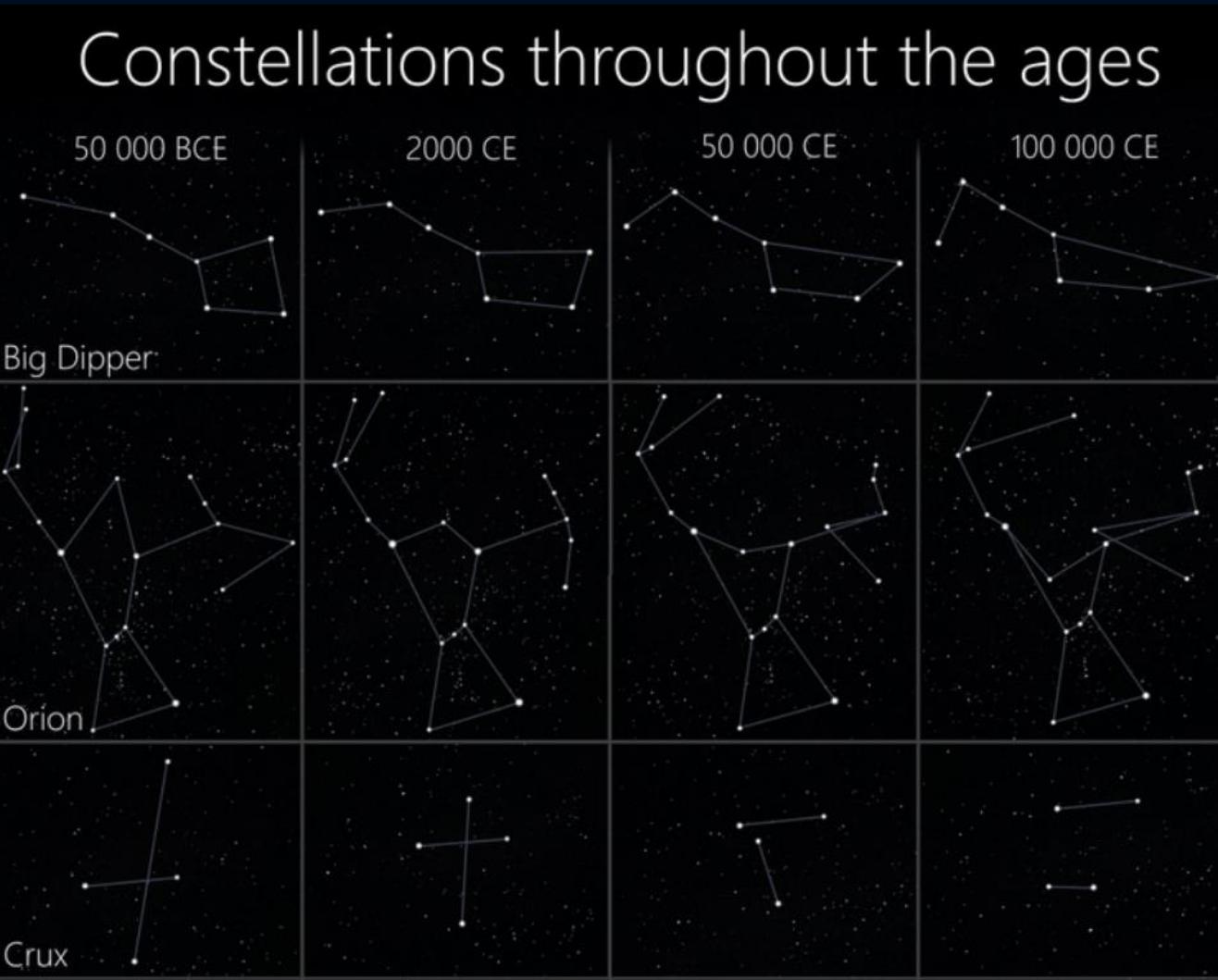


Kretanje zvezda

- Na osnovu varijacija u kretanju – postojanje pratilaca
- Kretanje – velike brzine, teško uočava zbog rastojanja
- U dužim vremenskim intervalima – promena sazvežđa
- Sopstveno kretanje – promena pravca pod kojim vidimo zvezdu ili promena njenog položaja na nebeskoj sferi
 - Ugaona veličina – manja ako je zvezda dalja



Sazvežđa

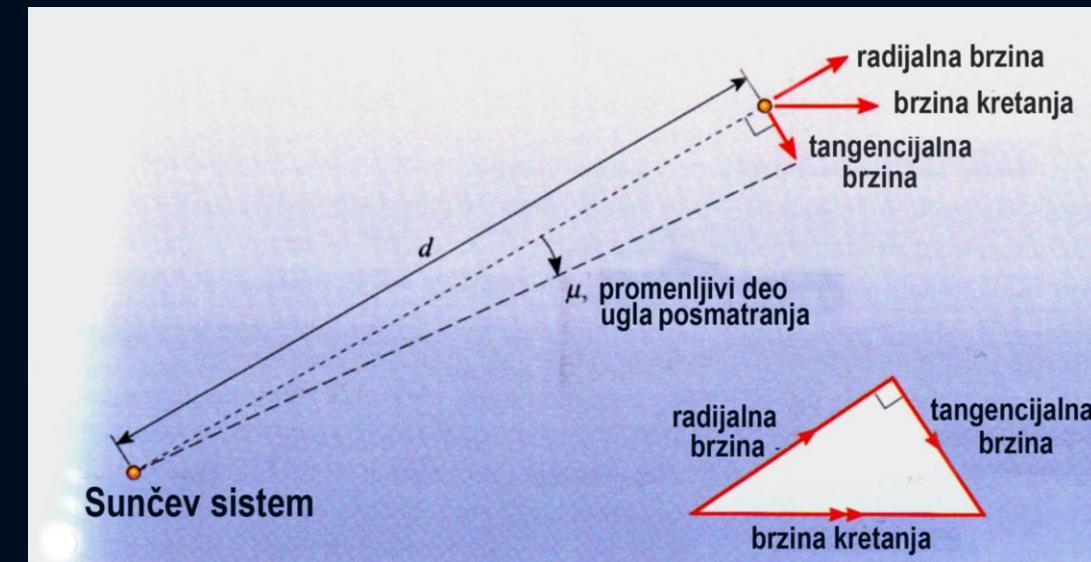


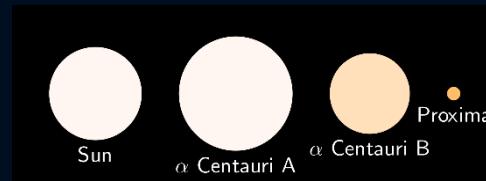
Sopstveno kretanje

- Dve komponente
 - Radijalna
 - Tangencijalna

$$v^2 = v_t^2 + v_r^2$$

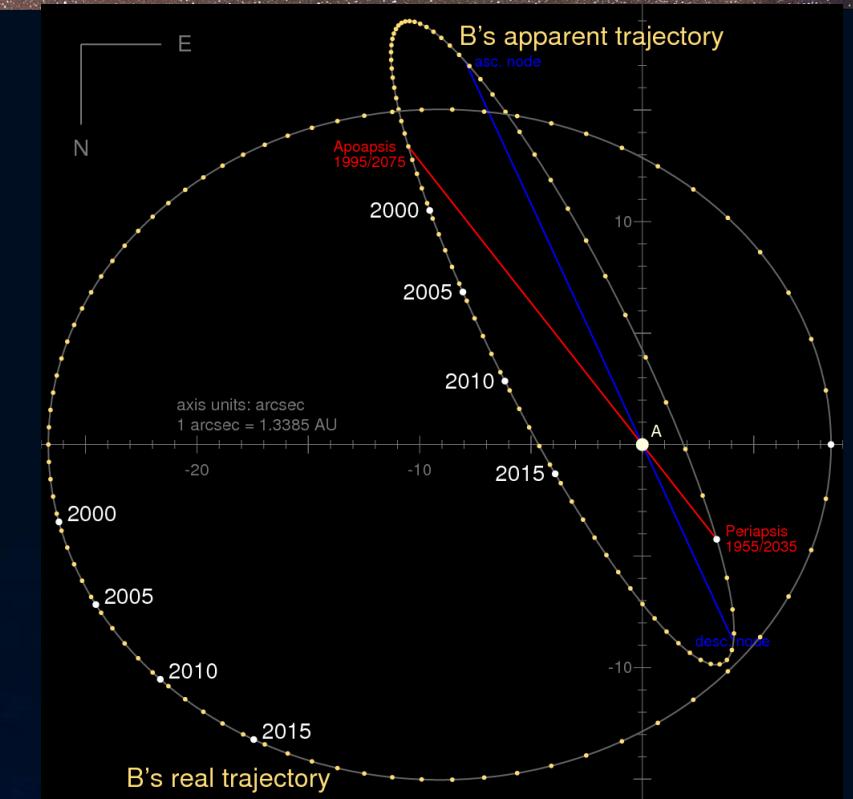
- Brzine zvezda 20-30 km/s, može 250+ km/s
- Tangencijalne brzine – pomeraj na fotografijama (interval više godina)
- Radijalne brzine – Doplerov efekat (Hajgens, 1808. godine – prvi put)





Alpha Cenauri

- Najbliža zvezda i planetarni sistem; 4,37 ly.
- Trostruka zvezda:
 - A – Rigel Kentaurus, B – Toliman, C – Proxima Centauri
 - Golin okom AB – jedna zvezda, -0,27 mag
 - Treća najsjajnija zvezda (posle Sirijusa i Kanopusa)
- Jedna planeta – Proxima Centaury b
 - Malo veća od Zemlje, u habitacionoj zoni
 - Otkriće: 2016, ESO
 - Metod radikalne brzine – periodični Doplerovi pomaci u spektru matične zvezde ukazuju na postojanje planete



Bernardova zvezda

- Mali crveni patuljak, 12 milijardi godina, +9,5 mag
- Najbliža na severnoj hemisferi (6 ly), ukupno 4. od Sunca
- Ime: Edward Barnard
 - Zabeležena na fotopločama 1888-1890, Harvard
 - Sopstveno kretanje, 1916: brzina 10,3 lučnih sekundi/god
 - U odnosu na Sunce 108 km/s
 - Planeta – superzemlja, 3,2 mase Zemlje, orbita 0,4 AU
 - Za nekoliko hiljada godina – bliža od Proxima Centauri



Braon patuljci i ekstrasolarne planete

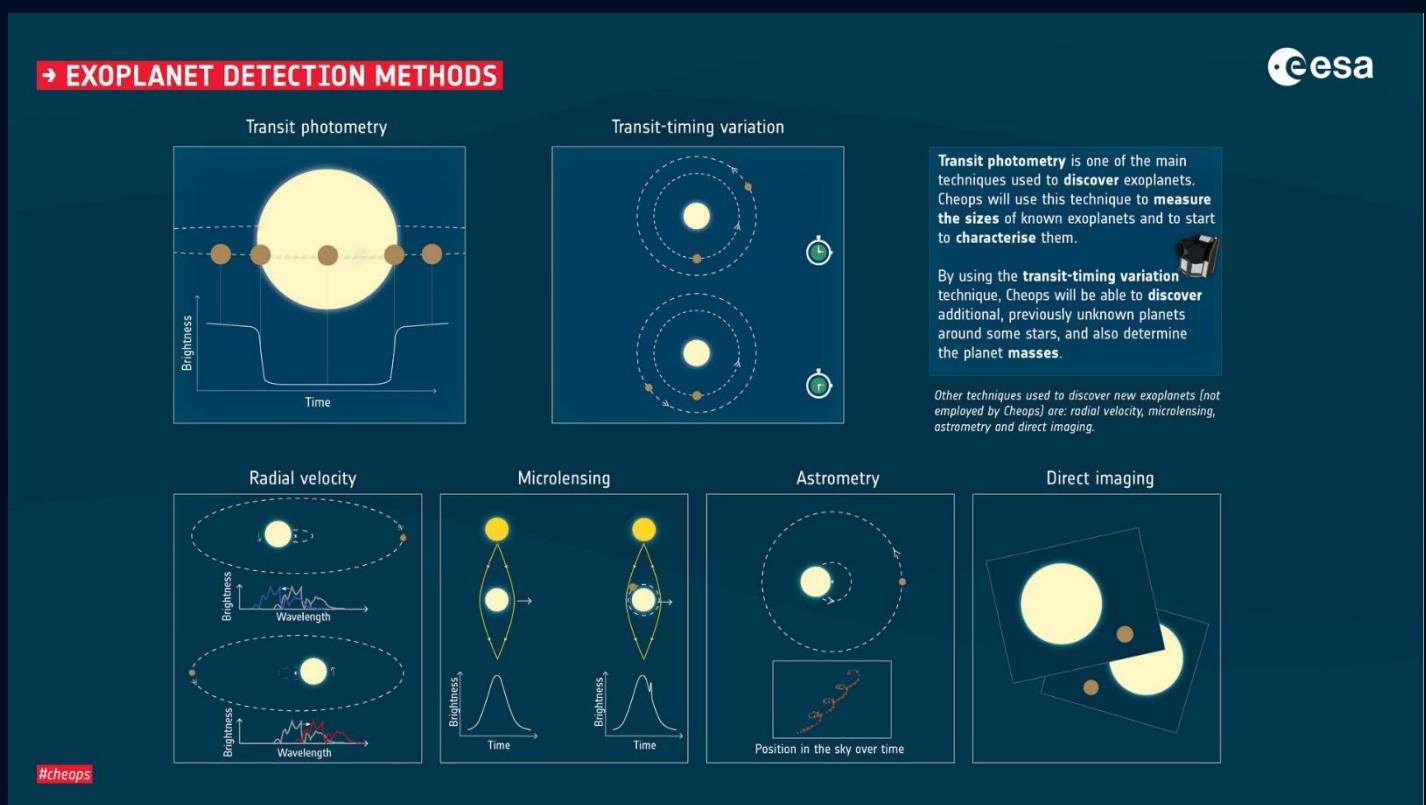
- Braon (smeđi) patuljci su tela na granici između zvezda i planeta. Imaju mase između 0,012 i 0,08 masa Sunca (13 do 80 masa Jupitera)
 - Donja granica – fuzija deuterijuma
 - Gornja granica – fuzija vodonika
- MAU je na zasedanju 2003. godine objavila definiciju ekstrasolarnih planeta i braon patuljaka:
 - Objekti sa masom ispod granične mase za termonuklearnu fuziju deuterijuma, koji orbitiraju oko zvezda ili zvezdanih ostataka, su **planete** (bez obzira na mehanizam nastanka).
 - **Braon patuljci** - tela sa masom većom od granične mase za termonuklearnu fuziju deuterijuma, bez obzira kako su nastali i gde se nalaze.
 - **Slobodno „lutajući“ objekti** u grozdovima mladih zvezda sa masom ispod granične mase za termonuklearnu fuziju deuterijuma **nisu planete**, već su **subbraon patuljci**

Prva ekstrasolarna planeta

- Prve otkrivenе ekstrasolarne planete (PSR 1257+12B i PSR 1257+12C) rotiraju oko pulsara PSR 1257+12.
 - Otkrili su ih Volzon i Frai 1992. godine.
 - Smatra se da su one ili kameni ostaci jezgara gasnih džinova ili rezultat druge generacije planetarnog sistema, koji je nastao od ostataka nakon eksplozije supernove.
 - Treća planeta otkrivena oko ovog pulsara je PSR B1257+12A.
 - Isti astronomi otkrili su je 1994. godine.
 - Dugo bila najmanje masivna ekstrasolarna planeta do sada otkrivena.
 - Masa je dvostruko veća od Meseca.
 - Trenutno najmanja planeta Kepler-37b (2013. god.)
 - 0,3 poluprečnika Zemlje, malo veća od Meseca

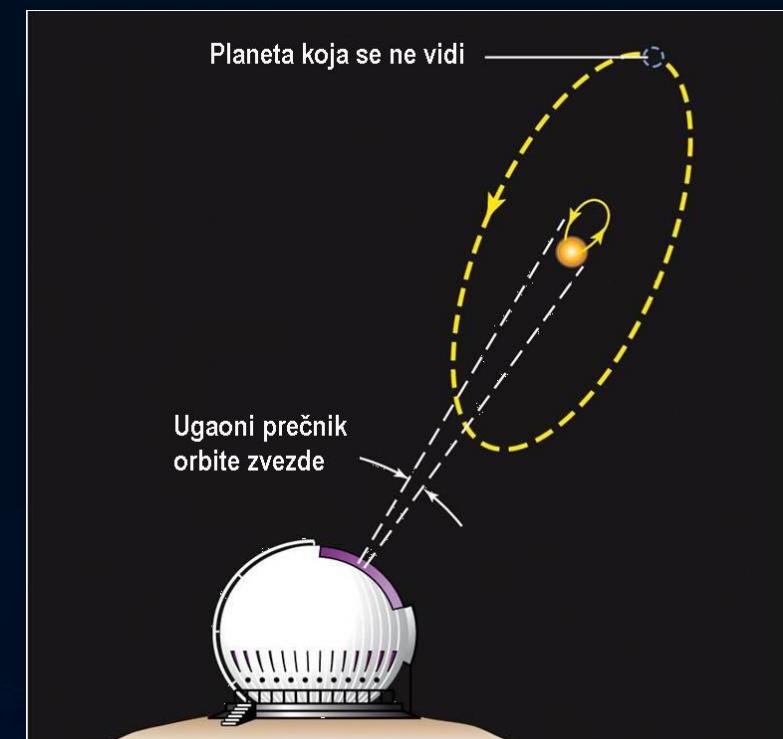
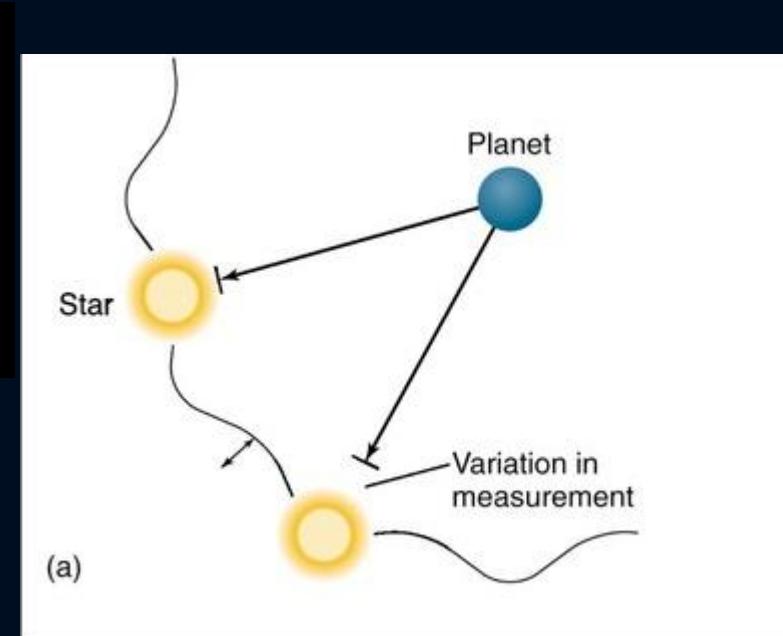
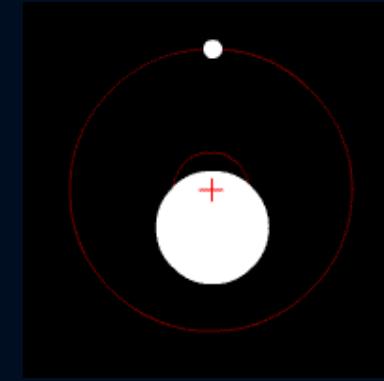
Osnovne metode detekcije

- Astrometrijska
- Doplerov efekat
- Fotometrijska metoda (tranzit)
- Direktno snimanje
- Gravitaciona sočiva



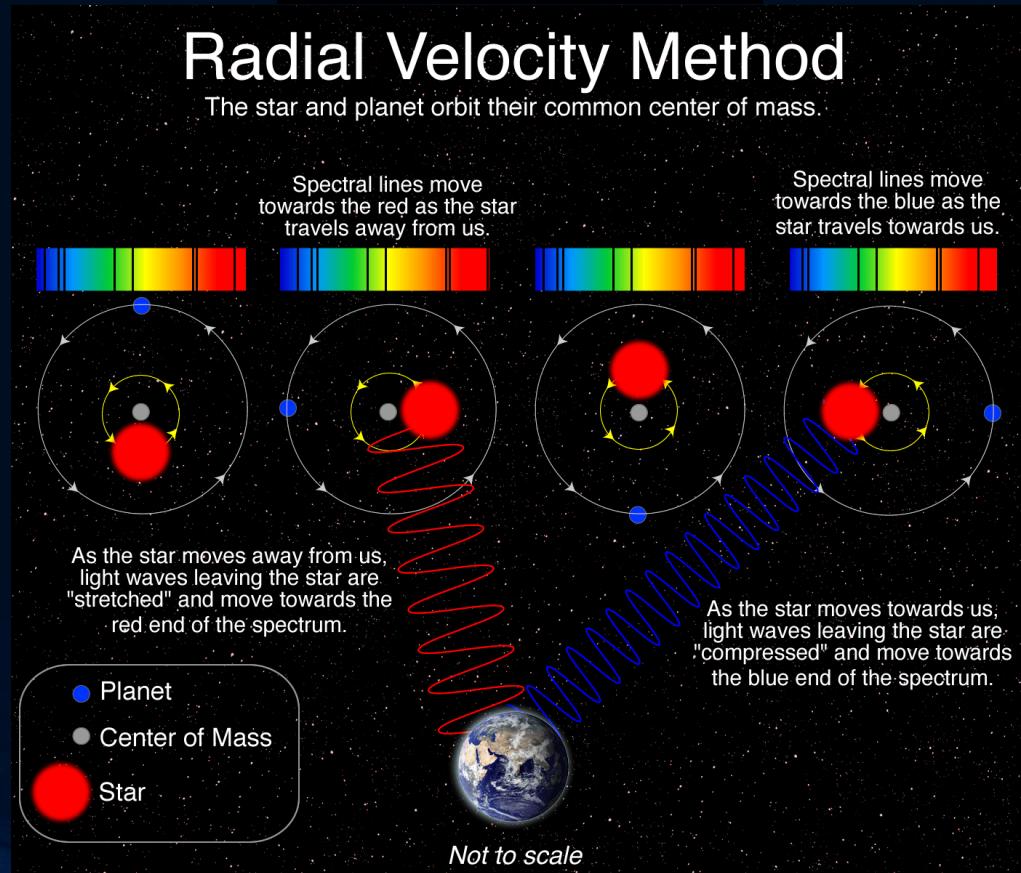
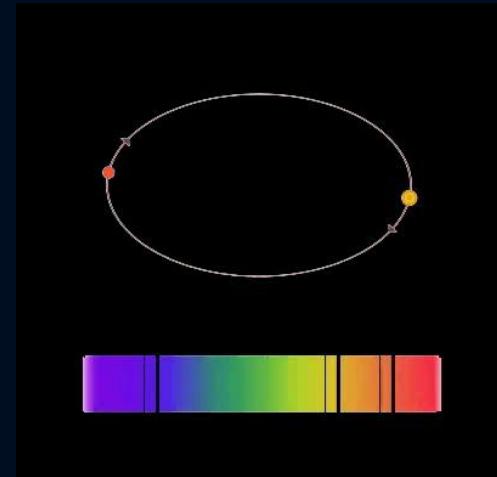
Astrometrijska

- Detektovanje poremećaja u kretanju zvezde.
- Zbog prisustva planete sistem zvezda-planeta kreće se oko baricentra i prilikom kretanja dolazi do "lJuljanja" zvezde.
- Ako postoji planeta njena gravitacija dovodi do kruženja zvezde po maloj eliptičnoj putanji.
- Detekcija planete - precizno merenje položaja zvezde na nebu i posmatranje promene položaja zvezde tokom vremena.
- Metoda omogućava preciznu procenu mase planete.
- Primena - teško je ostvariva, samo kod planeta velike mase i koje su blizu matične zvezde.
 - Masa planete mora da je manja od one koja bi je pretvorila u zvezdu.



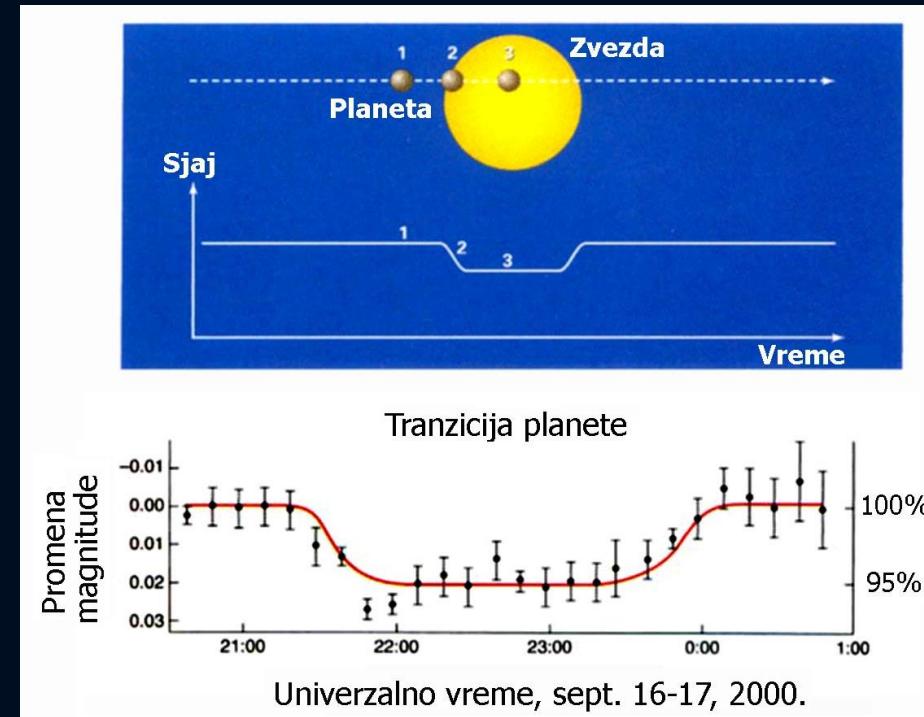
Doplerov efekat

- Zbog kretanja oko baricentra zvezda se naizmenično kreće ka posmatraču i od njega.
- Posledica - naizmenične crvene i plave pomake spektralnih linija u spektru zvezde.
- Veoma velika planeta, reda veličine Jupitera, može izazvati podrhtavanje kod matične zvezde, dok se kreću oko zajedničkog centra masa
- Oktobra 1995. godine - prva ekstrasolarna planeta pomoću Doplerove spektroskopije, 51 Pegasi b, koja je i ujedno prva otkrivena planeta koja kruži oko zvezde u glavnom nizu Hercšprung – Raselovog dijagrama (zvezda slična Suncu).



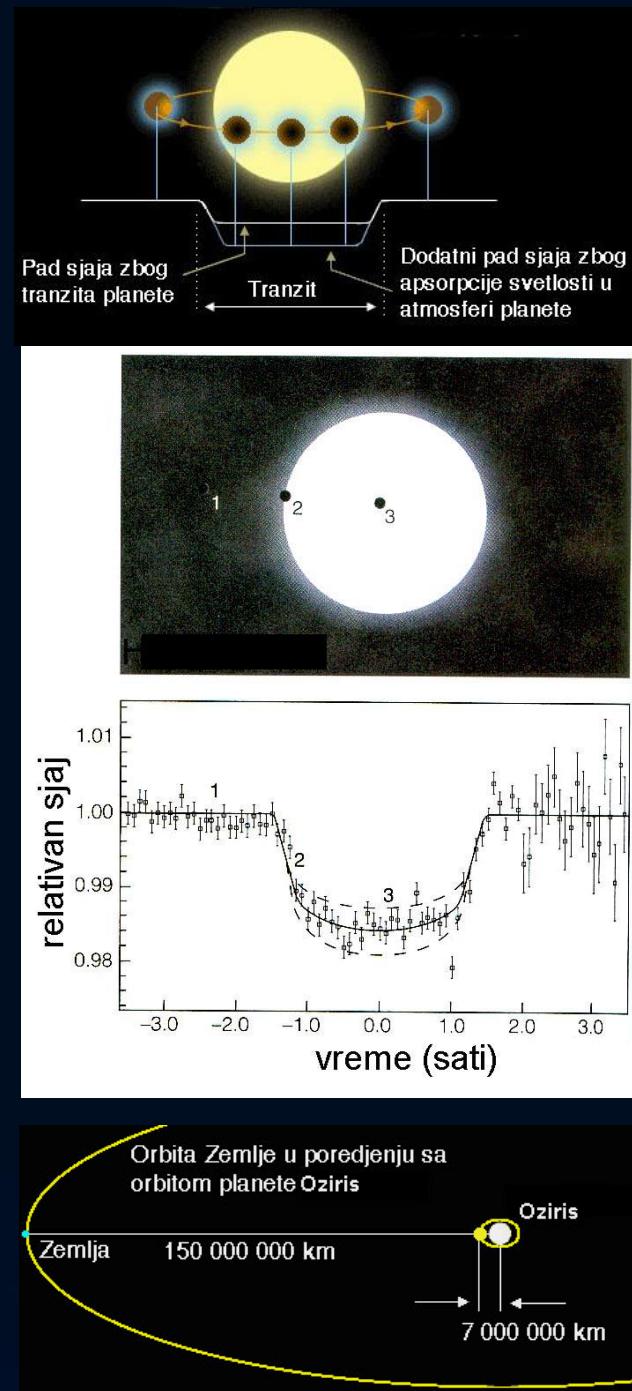
Fotometrijska metoda

- Promena sjaja zvezde kada planeta “prelazi” preko njenog diska (okultacija).
- Do pojave dolazi kada se, bar približno, poklapaju ravan posmatrača na Zemlji i ravan u kojoj planeta orbitira oko planete.
- Metoda omogućuje i određivanje radijusa planete.
- Ovom metodom otkriven je najveći broj planeta.
- Neophodno utvrditi da li postoji stalna i periodična promena sjaja zvezde.
 - promene najčešće male ($0,1\%$ do 1%), ali to zavisi od veličine planete, njene udaljenosti od zvezde, itd.

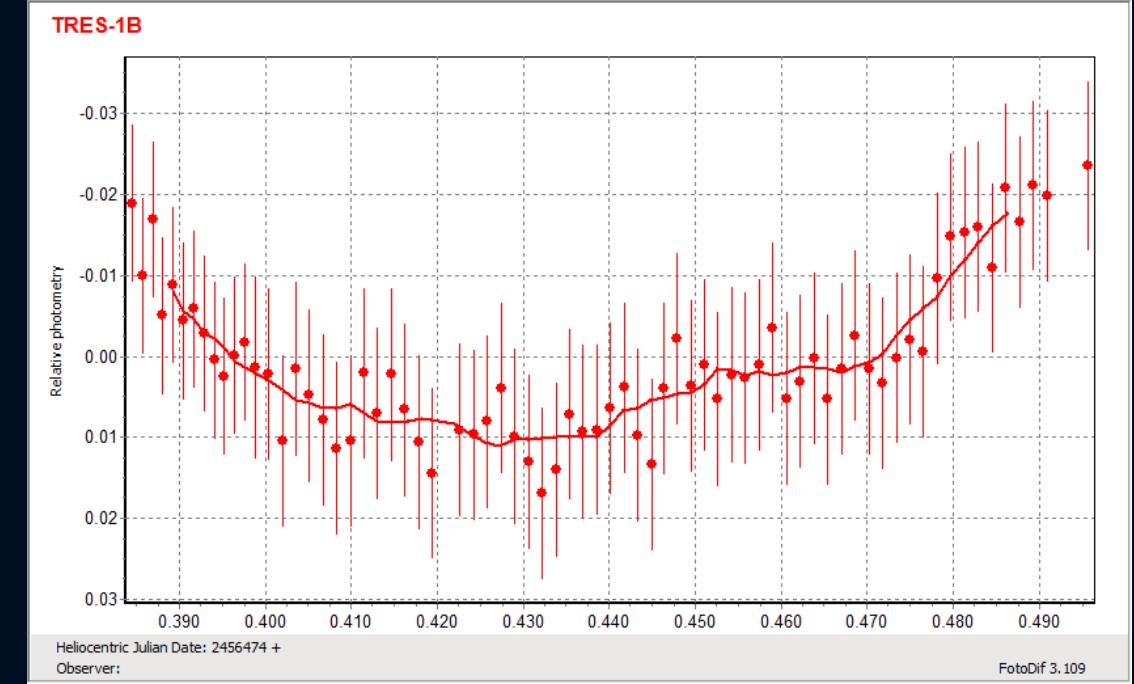
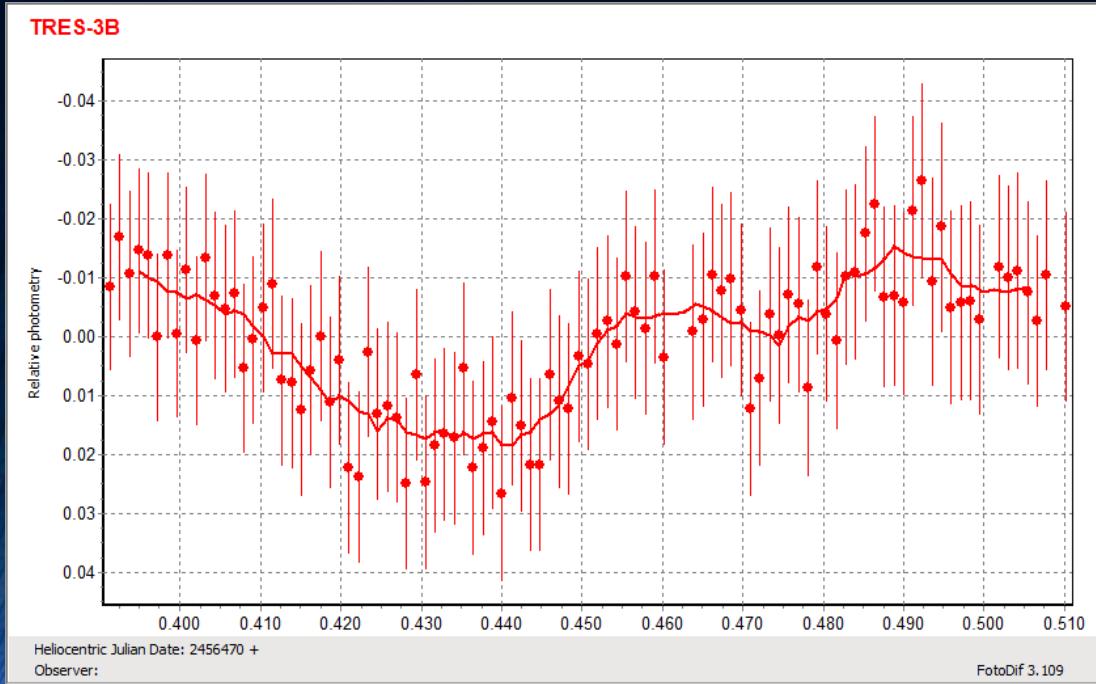


Fotometrijska metoda

- Prvi put je otkrivena atmosfera jedne ekstrasolarne planete.
- Planeta HD 209 458 u sazvežđu Pegaz. Dobila ime Oziris.
- Zbog postojanja atmosfere, prilikom njene tranzicije preko zvezdanog diska, pad sjaja zvezde nije bio oštar, i javilo se dodatno slabljenje sjaja zbog apsorpcije zračenja u atmosferi planete.
- Detektovan 1999. godine, rastojanje oko 150 sg.
- Period 3,5 dana, poluosa 7.000.000 km
- Masa oko 0,7 masa Jupitera, prečnik za 30% veći od Jupiterovog.
- U atmosferi je detektovan vodonik, kiseonik i ugljen-dioksid, koji u ogromnim količinama isparavaju iz unutrašnjosti.



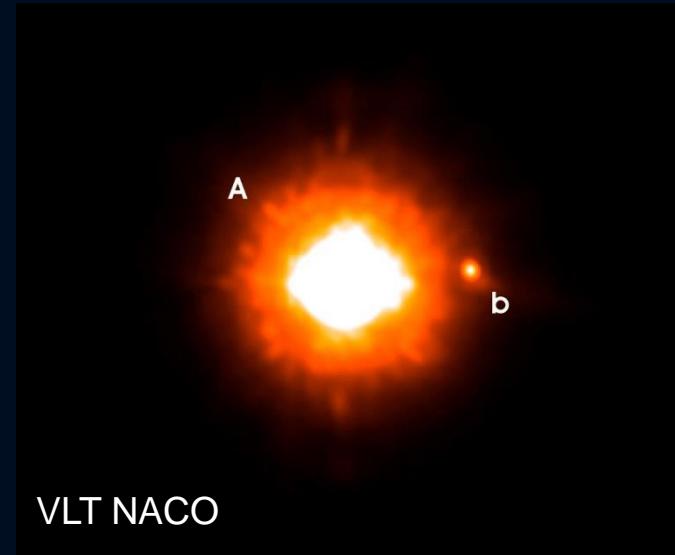
Fotometrijska metoda



- Krive sjaja zvezda TrES-1 TrES-3 (Kristina Stanković, master rad na Departmanu za fiziku PMF-a u Nišu).

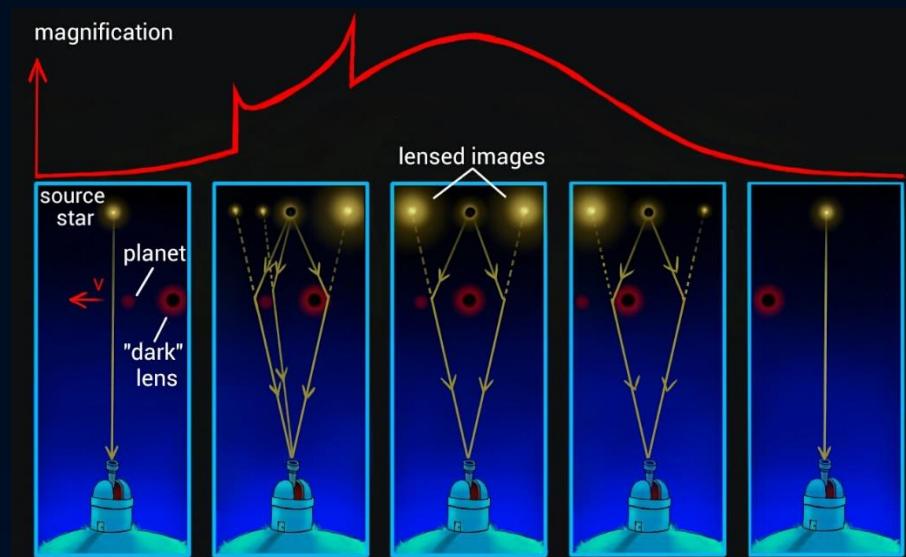
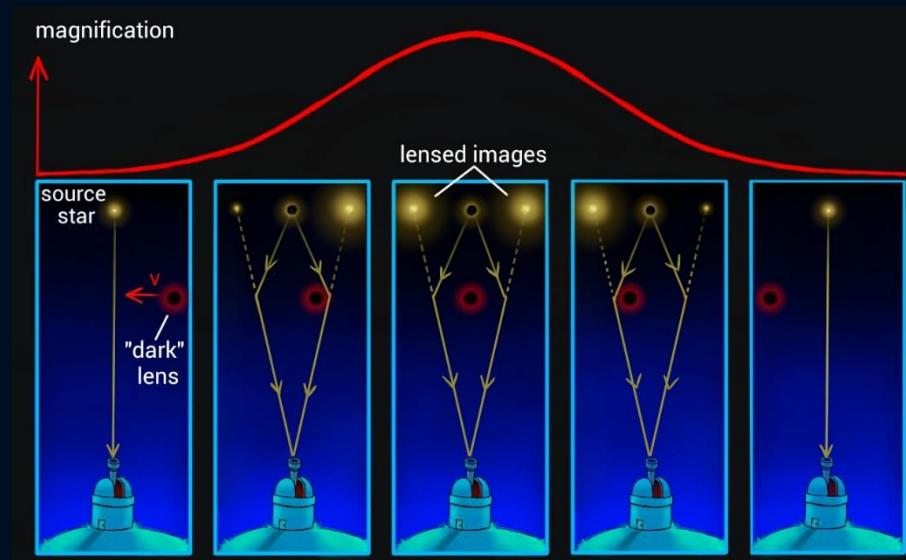
Direktno snimanje

- Zasniva se na osobini da planete reflektuju svetlost matične zvezde.
- Metoda se koristi za otkrivanje ekstremno velikih planeta.
- Ovom metodom je neposredno snimljena prva ekstrasolarna planeta, koja orbitira oko zvezde *GQ Lupi*.
 - Planeti oko jedne mlade zvezde (starost 1-2 milijarde godina).
 - Masa zvezde je manja od Sunca (70%).
 - Planeta je od zvezde udaljena oko 100 AU, a period revolucije joj je oko 1200 g.
 - Njena temperatura je oko 2000 K – mlada planeta koja se još nije ohladila nakon formiranja.
 - Dvostruko je većeg prečnika od Jupiterovog. Sjaj joj je oko 250 puta slabiji od sjaja zvezde.
 - Snimljeno – teleskop od 8,2 m u Čileu (adaptivna optika)



Gravitaciona sočiva

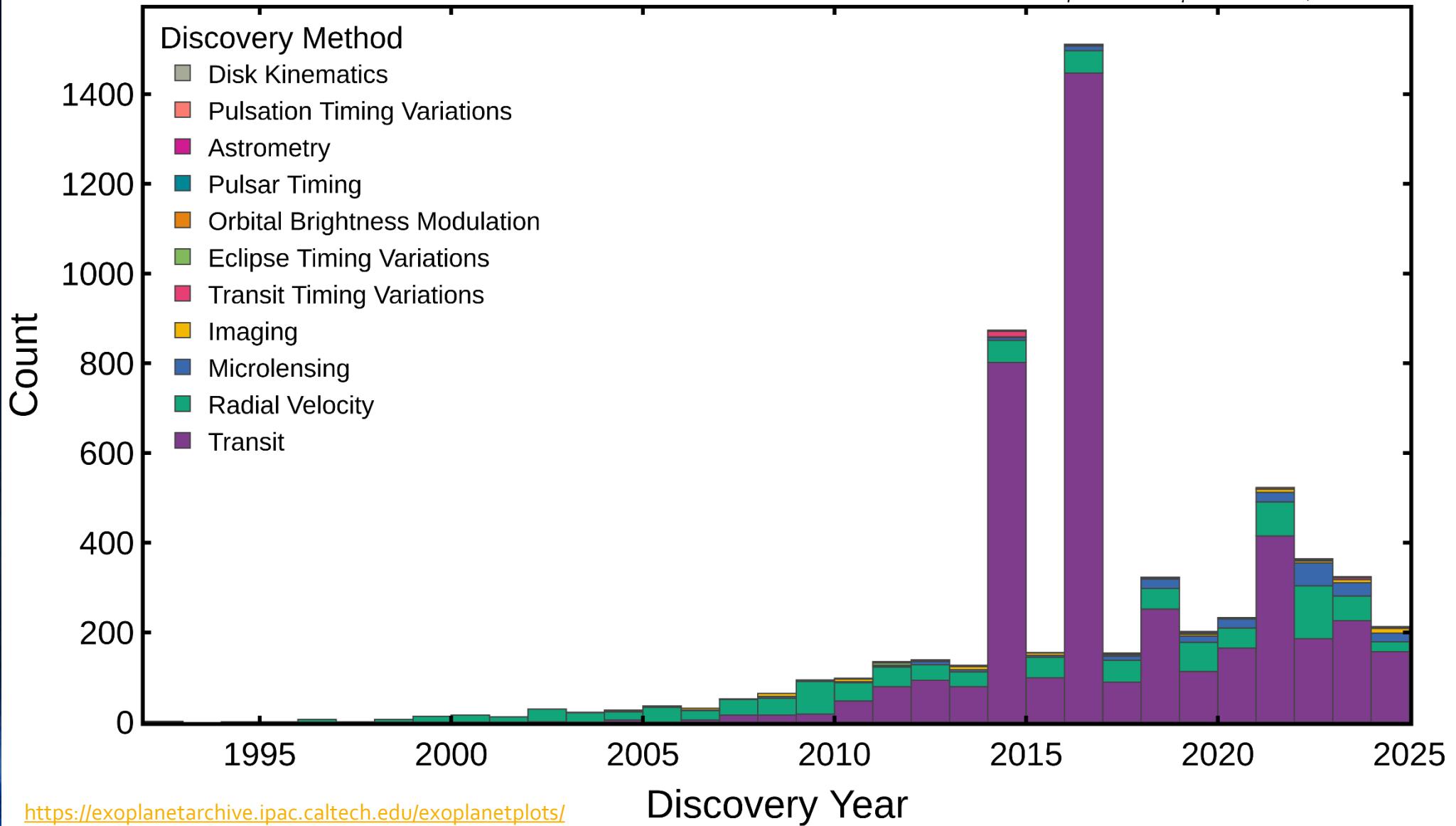
- Metoda je povezana sa pojavom "savijanja" svetlosti, prilikom prolaska pored masivnih kosmičkih objekata
 - Zvezda - mikro-gravitaciono sočivo
 - Galaksija - makro-gravitaciono sočivo
- Da bi se ovim efektom video dalji objekt neophodno je da se nađe na liniji sa Zemljom i objektom-sočivom.
- Gravitaciona sočiva - analogno optičkim sabirnim sočivima,
 - kod pozadinskih zvezda, čija se svetlost savija pri prolasku pored "sočiva" uočavaju se veliki i jasno izraženi pikovi, ukoliko one poseduju pratioce.
- Efekti su izraženiji, ako se radi o većim planetama.
- Negativna strana metode - posle završetka procesa, vrlo teško se nastavljanje praćenja sistema



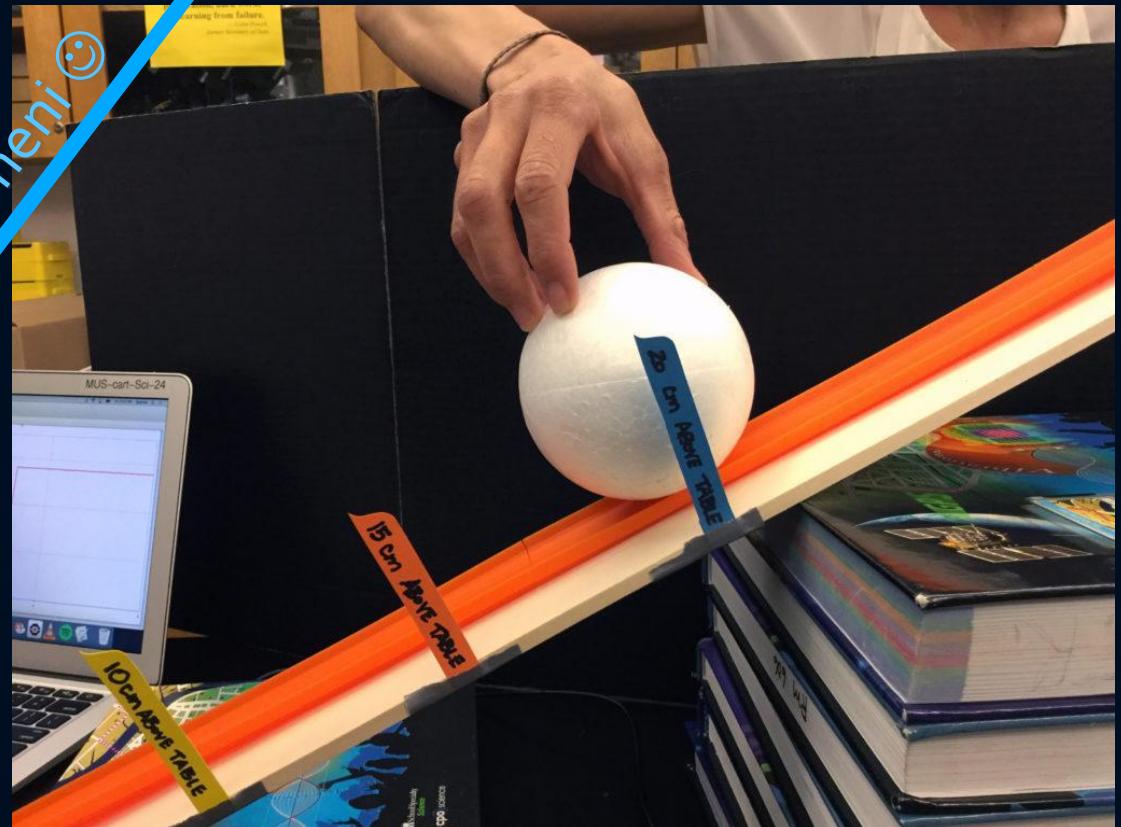
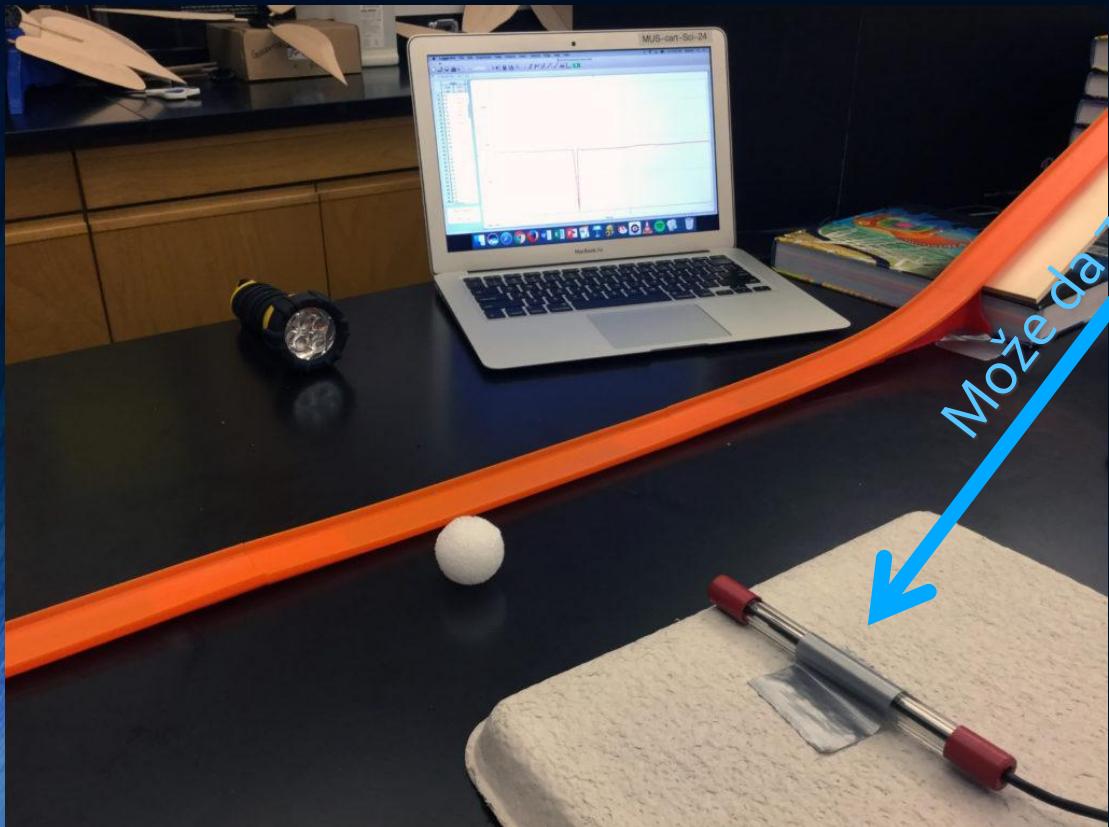
Kako su otkrivene planete?

Counts vs Discovery Year

exoplanetarchive.ipac.caltech.edu, 2024-11-21



Eksperiment



Simulacije

- <https://www.explore-exoplanets.eu/game/exoplanets-detection-methods/>
- <https://ccnmtl.github.io/astro-simulations/exoplanet-transit-simulator/>
- <https://waps.cfa.harvard.edu/microobservatory/diy/index.php>

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 živoća, 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

