
Planeti

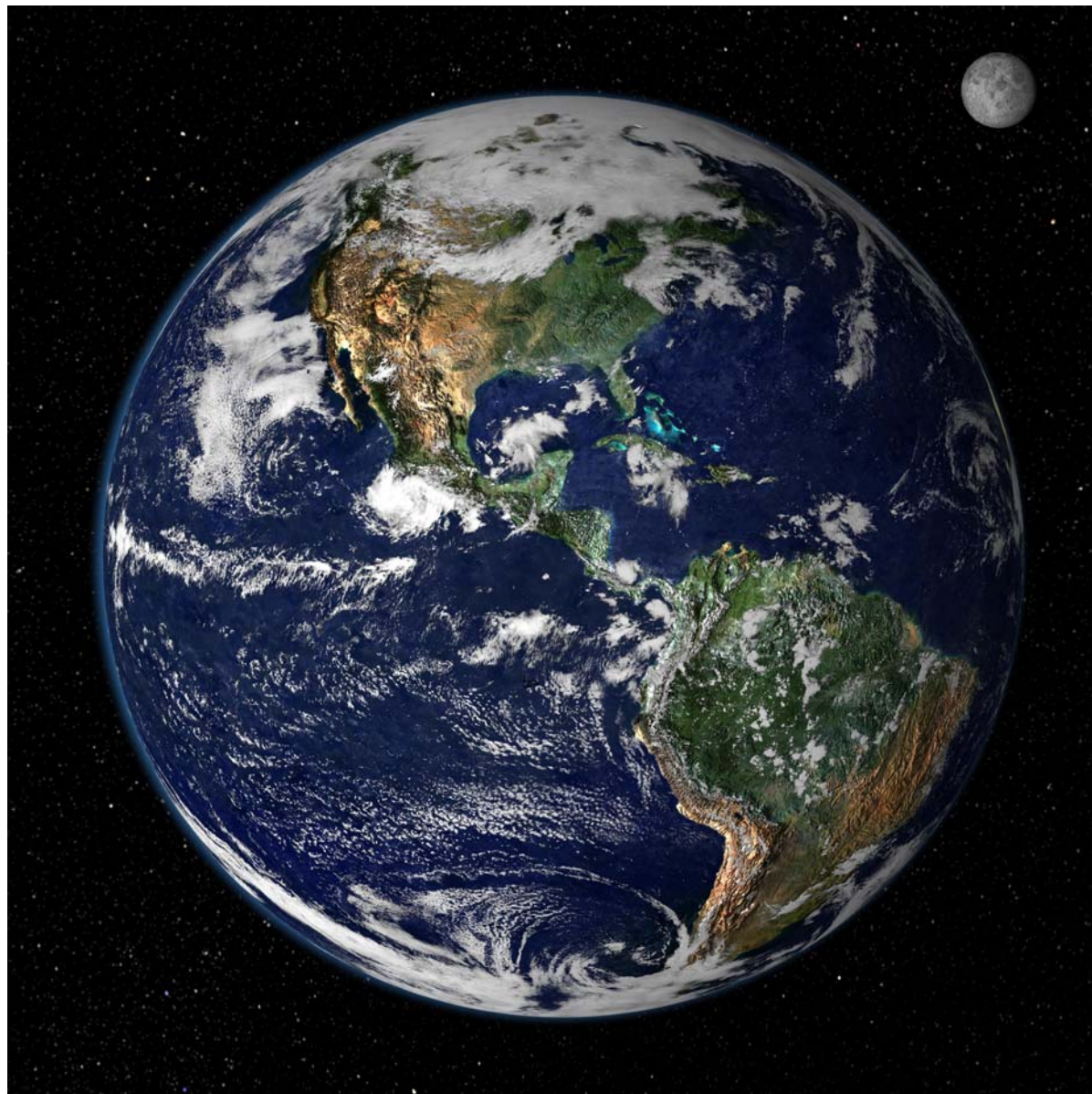
Andreja Gomboc

Fakulteta za matematiko in fiziko

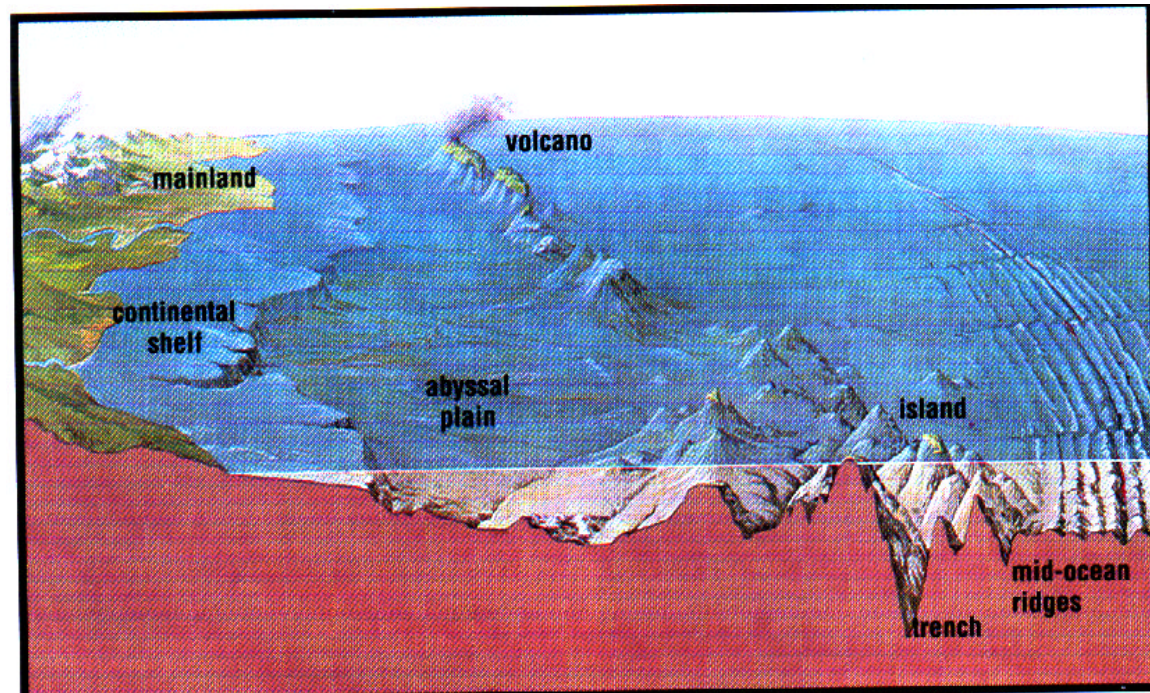
Univerza v Ljubljani

Ljubljana, 17. oktober 2008

Zemlja



■ relief



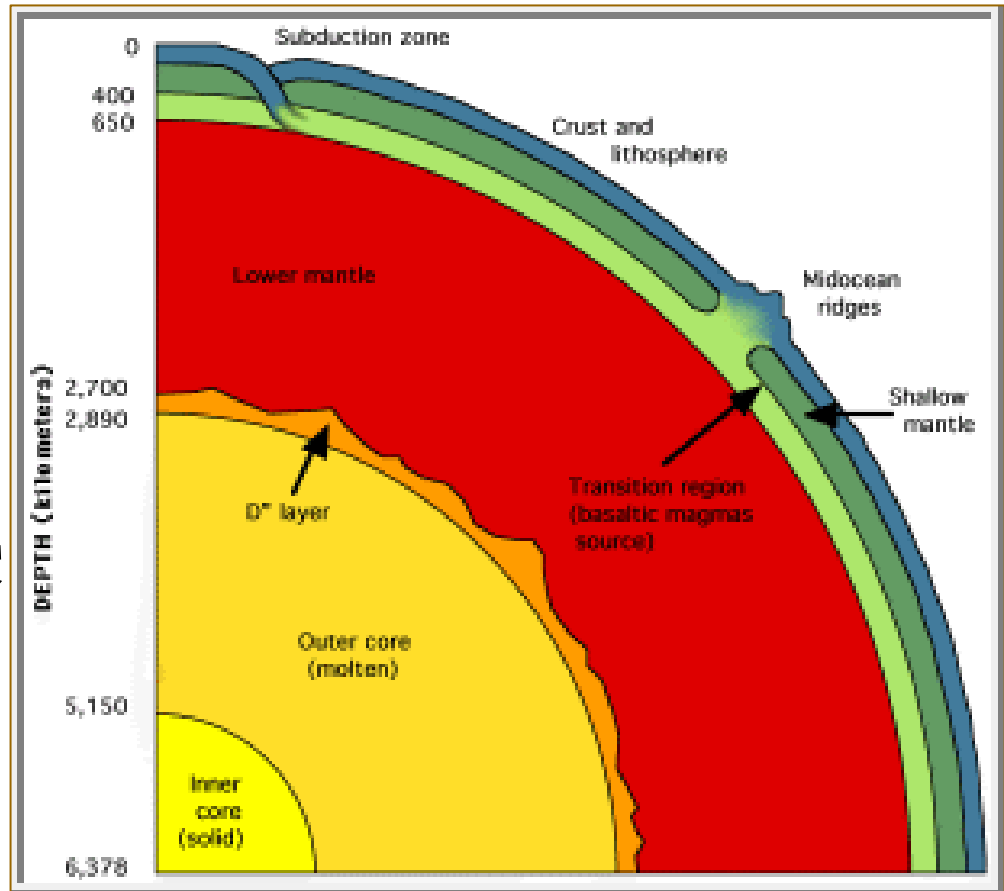
- najvišji vrh 8,8 km
- najgloblje brezno 11km

Zgradba

debelina skorje! 22°C

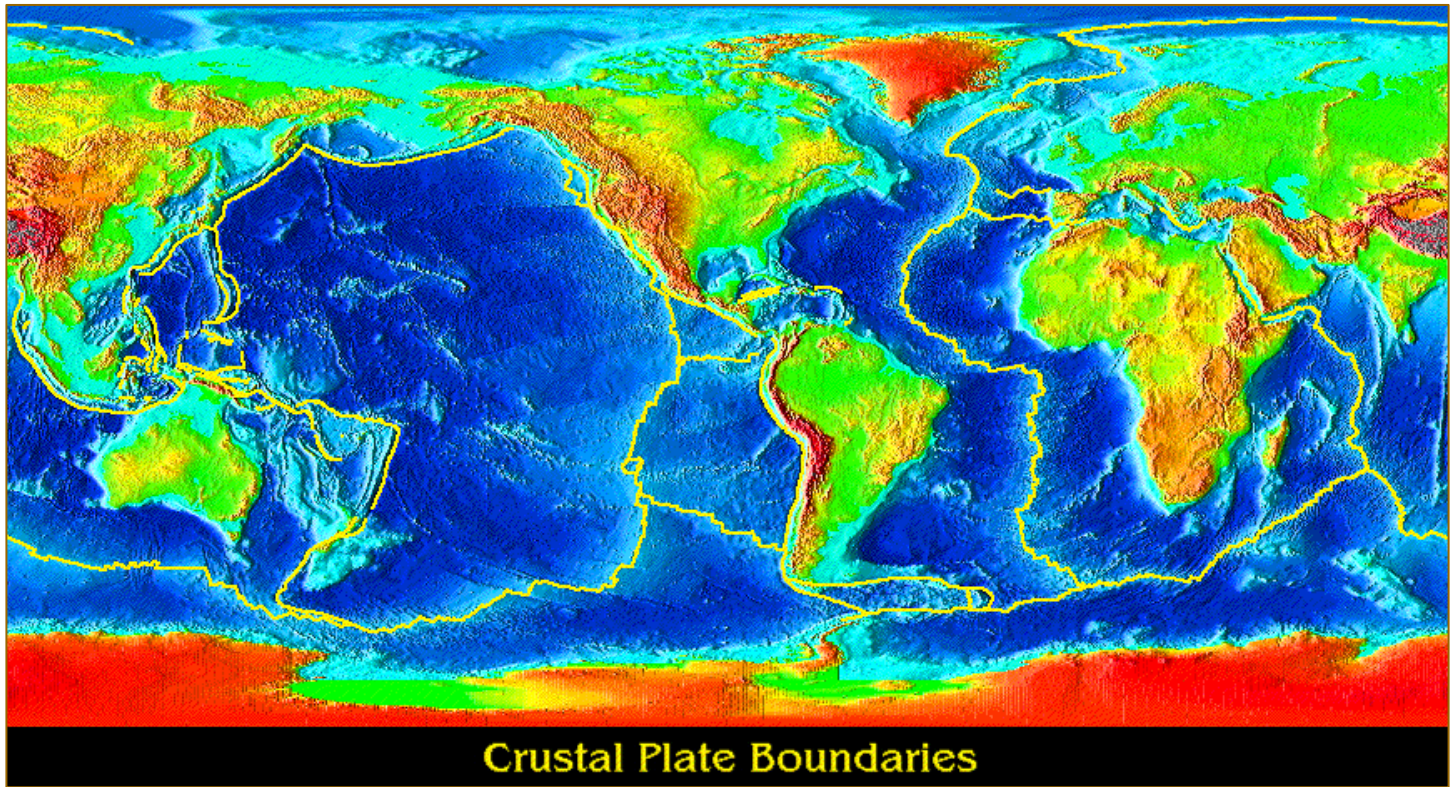
$1500^{\circ}\text{C} - 3000^{\circ}\text{C}$

4000°C



procesi oblikovanja površja

- premiki tektonskih plošč



- vulkani



■ udarni kraterji

film

(Vir: <http://www.meteorcrater.com/>)



50.000 let, 60.000 km/h, 45 m, 100 tisoč ton, 1,2 km, 200 m

- erozija (atmosfera in tekoča voda)

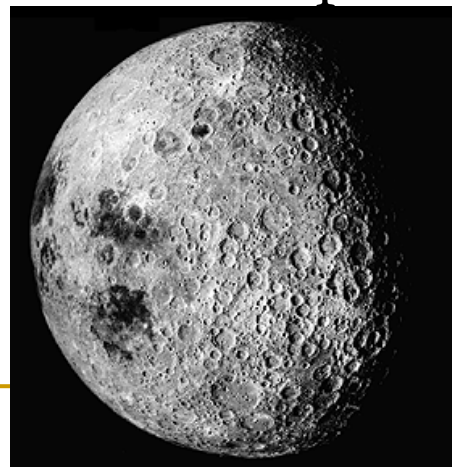


- površje Zemlje mlado

(udarni kraterji na Zemlji)



- primerjava z reliefom Lune – staro površje



starost Zemlje

- nastanek in starost Osončja
- določanje starosti z radioaktivnimi razpadi



$$N(^{238}\text{U}) + N(^{206}\text{Pb}) = \text{konst.}$$

$[\text{Pb}^{206}]/[\text{Pb}^{204}]$ iz neradioakt. kamnin * $[\text{Pb}^{204}]$ v radioakt. kam.

→ $[\text{Pb}^{206}]$ v začetku

okrog 4 milijarde let

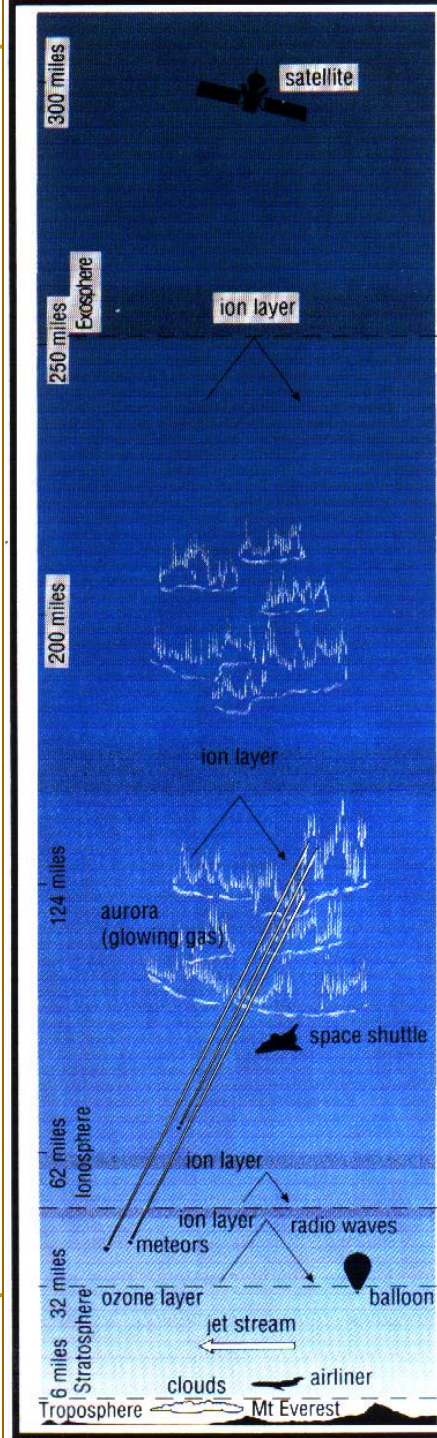
Zemlja kot planet življenja

- morja
 - pokrivajo 71% površine
 - 97% vse vode
- vir kisika –
 - 70% kisika proizvedejo mikroorganizmi v morju



Zemlja kot planet Življenja

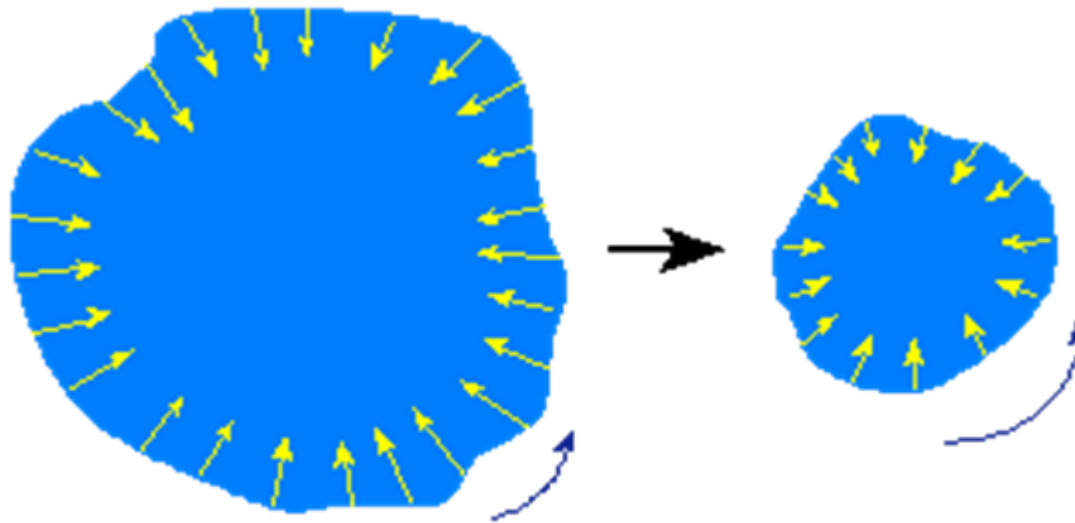
- atmosfera
 - primerna masa planeta
 - primerna oddaljenost od Sonca
 - padavine, vetrovi (površje)
- vloga atmosfere za razvoj Življenja



vpliv človeka

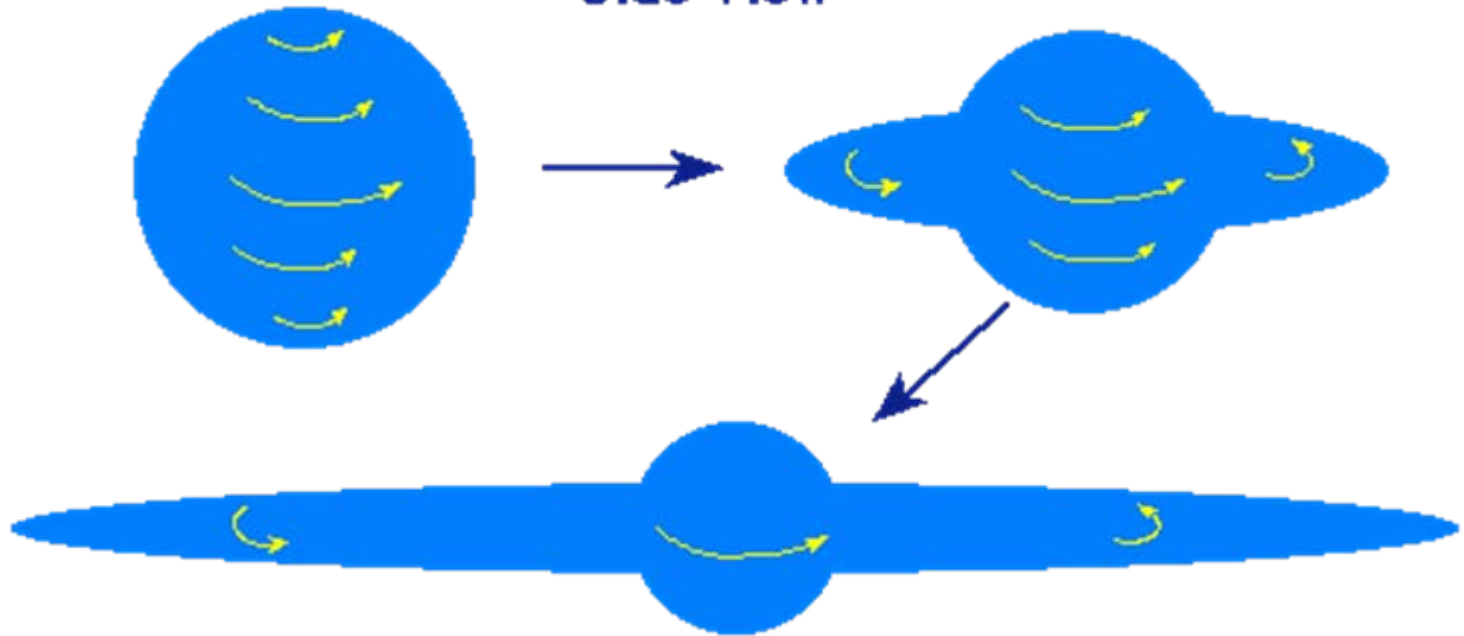


nastanek Osončja



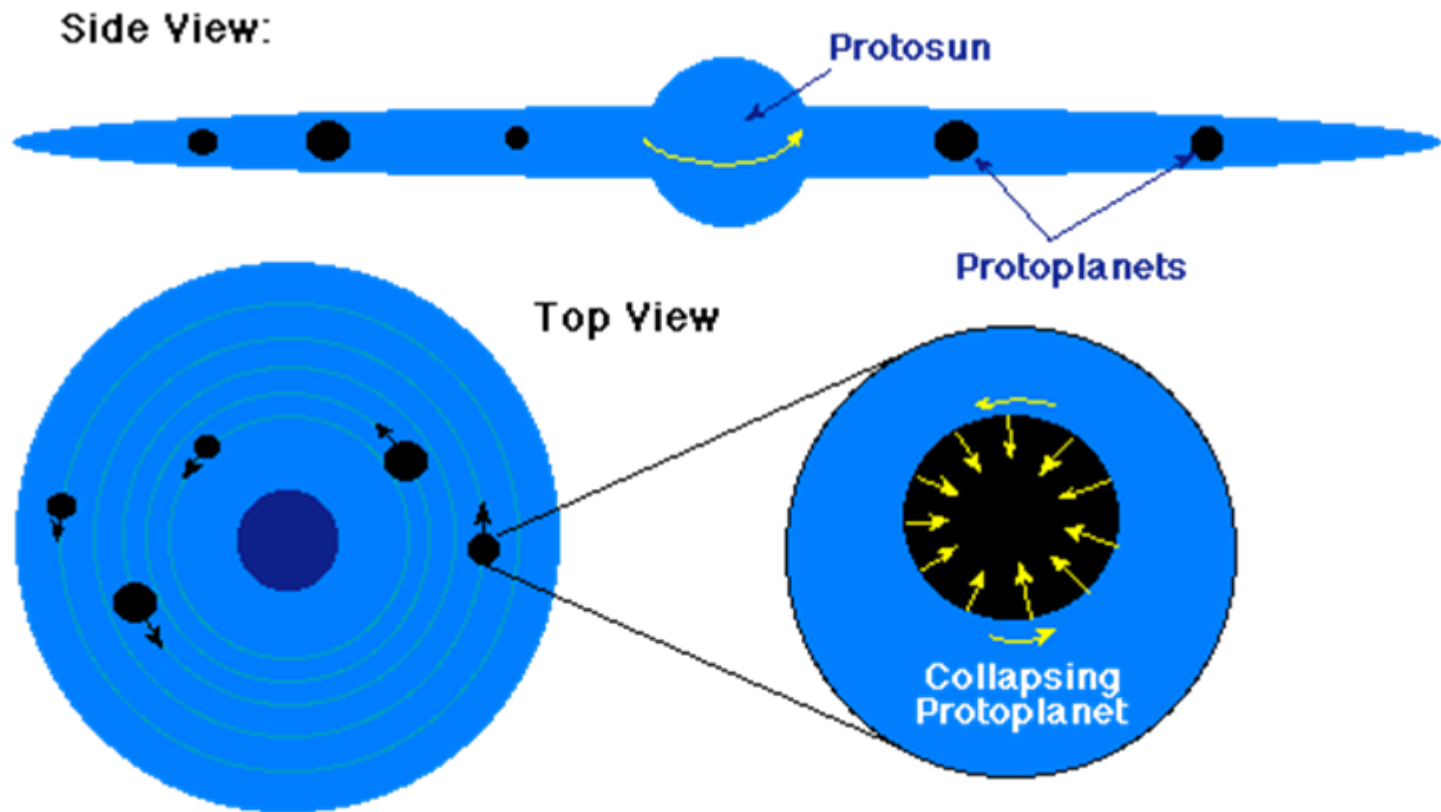
The cloud spins more rapidly as it collapses because of conservation of angular momentum

Side View



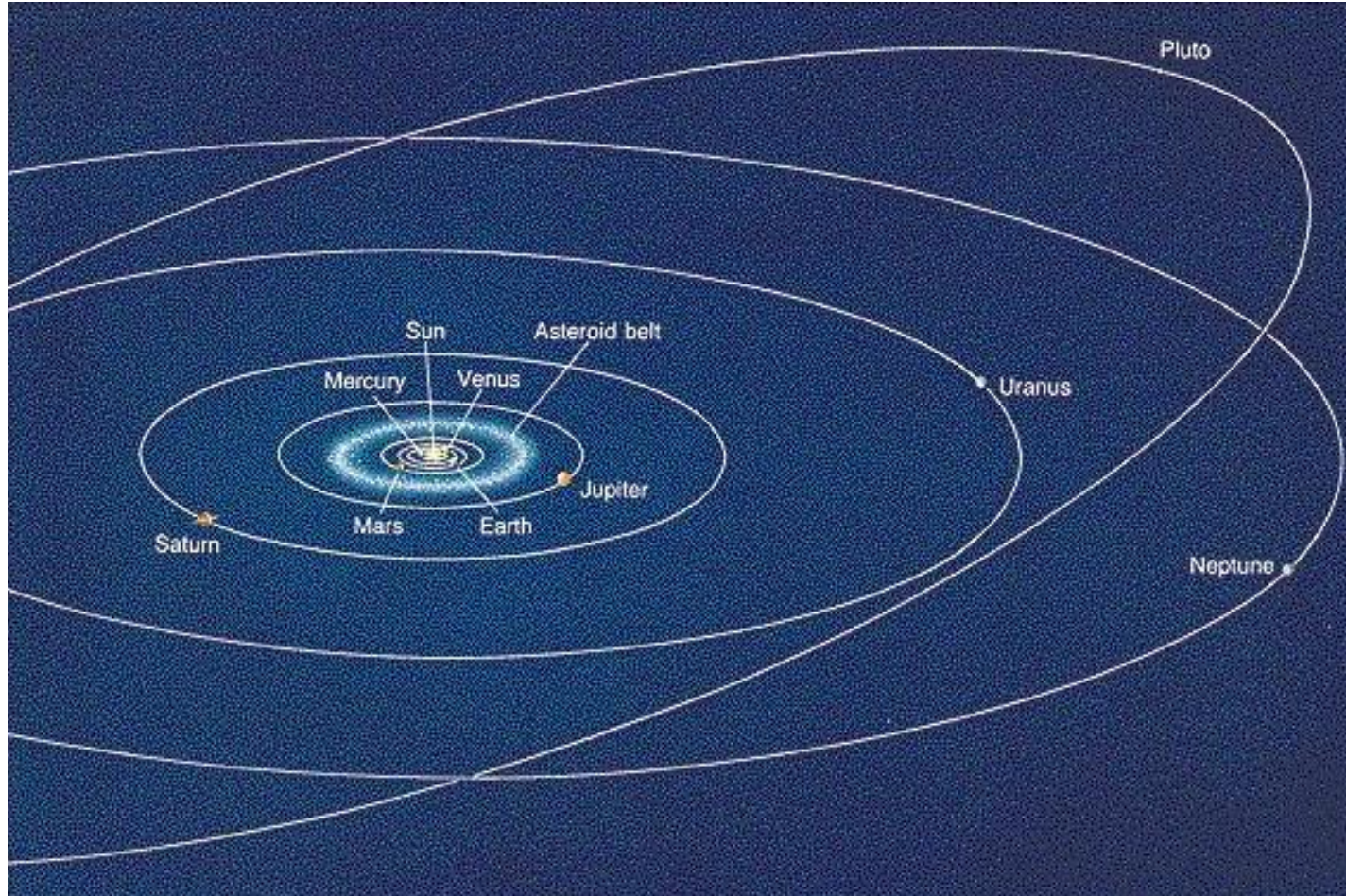
film

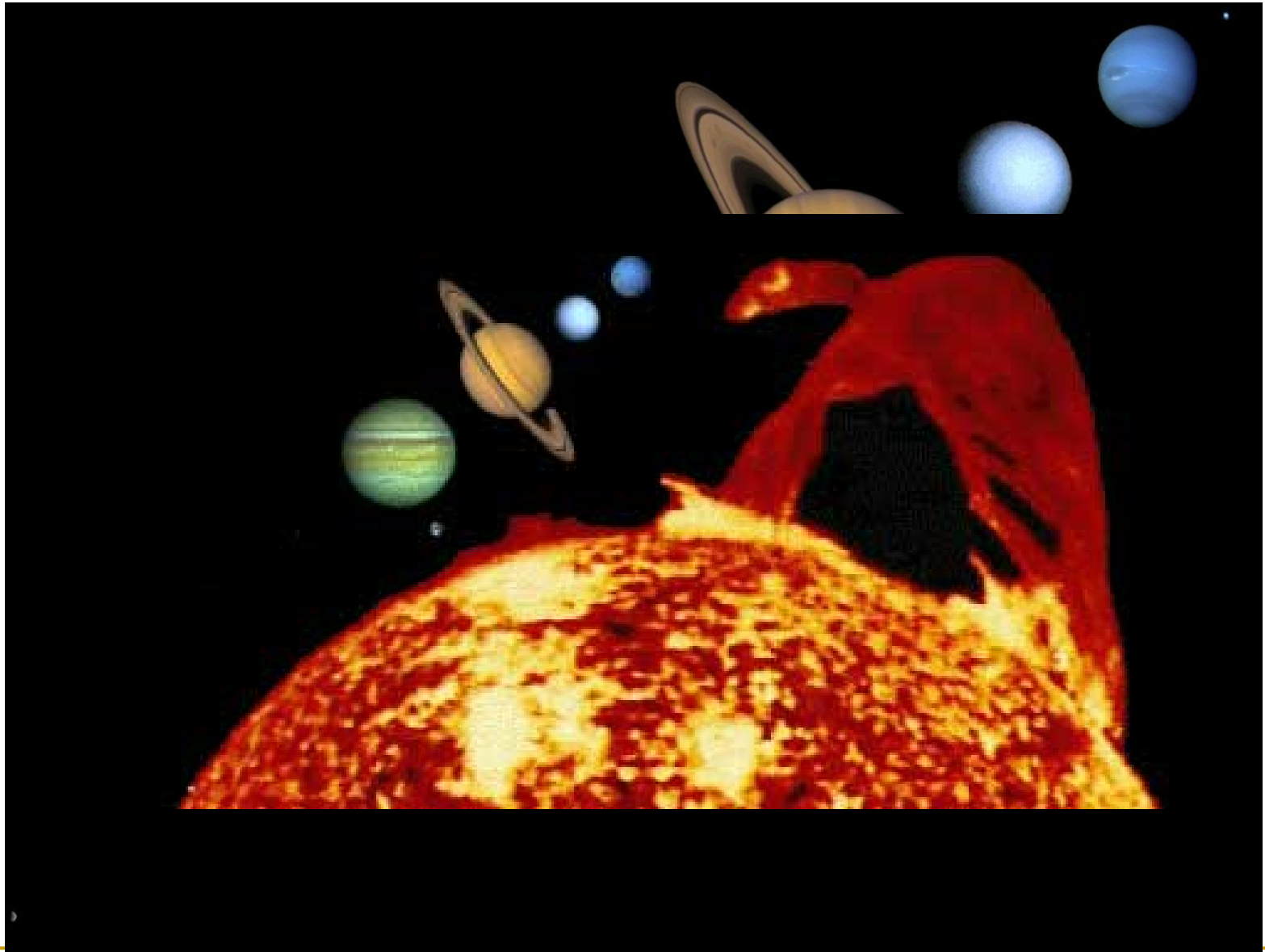
film2



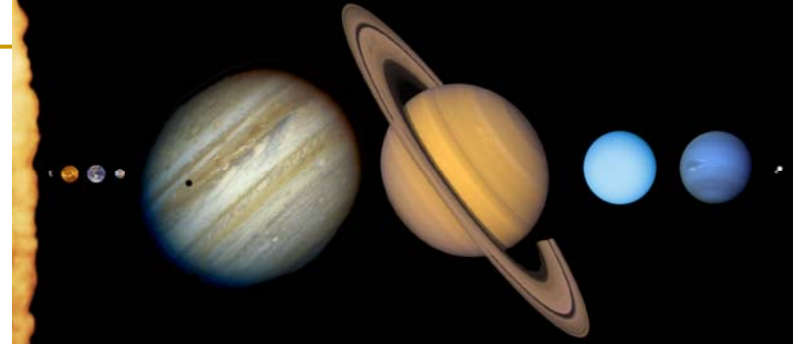
Vir ilustracij: <http://csep10.phys.utk.edu/astr161/lect/solarsys/nebular.html>

Naše Osončje





delitev planetov



- **velikost:** majhni (Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Pluton < 13.000 km)
veliki (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun > 48.000 km).
 - **oddaljenost od Sonca:** notranji (Merkur, Venera, Zemlja, Mars)
zunanji (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, Pluton).
 - **sestava:** skalnati-zemeljski (Merkur, Venera, Zemlja, Mars)
plinasti (Jupiter, Saturn, Uran, Neptun)
Pluton?
 - **položaj glede na Zemljo** - bližji Soncu (Merkur, Venera)-mene
Zemlja
bolj oddaljeni (Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, Pluton) - polni
 - **zgodovina** - klasični (Merkur, Venera, Mars, Jupiter, Saturn) - vidni s
prostim očesom
moderni (Uran, Neptun, Pluton) - vidni le skozi teleskop
-

merilo

telo:	ekv. premer (1cm~10000km)	oddaljenost od Sonca (1cm~10000km)
Sonce	140 cm	0
Merkur	4.9 mm	58 m
Venera	1.2 cm	108 m
Zemlja	1.3 cm	150 m
Mars	6.8 mm	228 m
Jupiter	14.3 cm	778 m
Saturn	12.2 cm	1.4 km
Uran	5.1 cm	2.9 km
Neptun	4.86 cm	4.5 km
Pluton	2.3 mm	5.9 km
Luna	3.5 mm	38 cm od Zemlje

Temperatura na planetih

Več faktorjev - ravnovesje med prejeta in oddano toploto:

- oddaljenost od Sonca $\propto 1/a^2$
- kaj se zgodi v atmosferi planeta (oblaki, površina-
Merkur, Venera, Zemlja, Mars)
- gravitacijsko krčenje
- radioaktivni razpadi

temperatura pada z oddaljenostjo

planet	T (°C)
Merkur	180 (od -170 do 430)
Venera	450
Zemlja	8 (od -15 do 40)
Mars	od -120 do 37
Jupiter	-153
Saturn	-185
Uran	-214
Neptun	-225
Pluton	-236
Luna	od -153 do 107

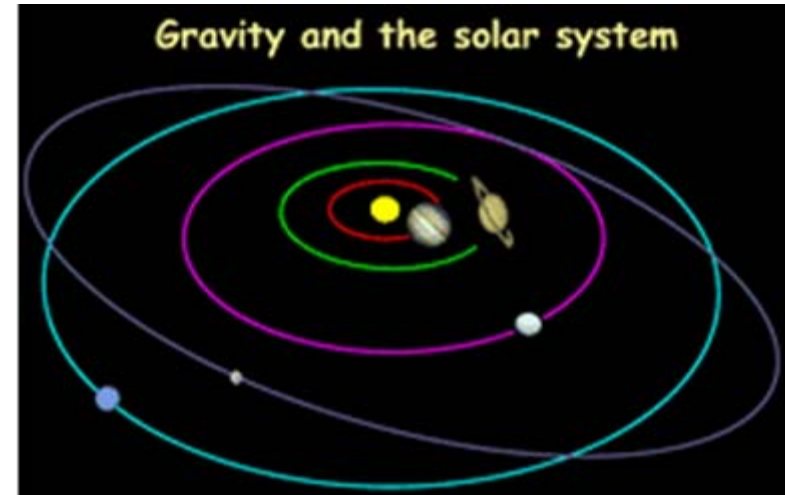
Gibanje planetov

Gibanje planetov:
gibanje okoli Sonca (elipse):

$$a^3/T^2 = GM_S/4\pi^2$$

in vrtenje okoli lastne osi

dolžina dneva in leta na posameznem planetu

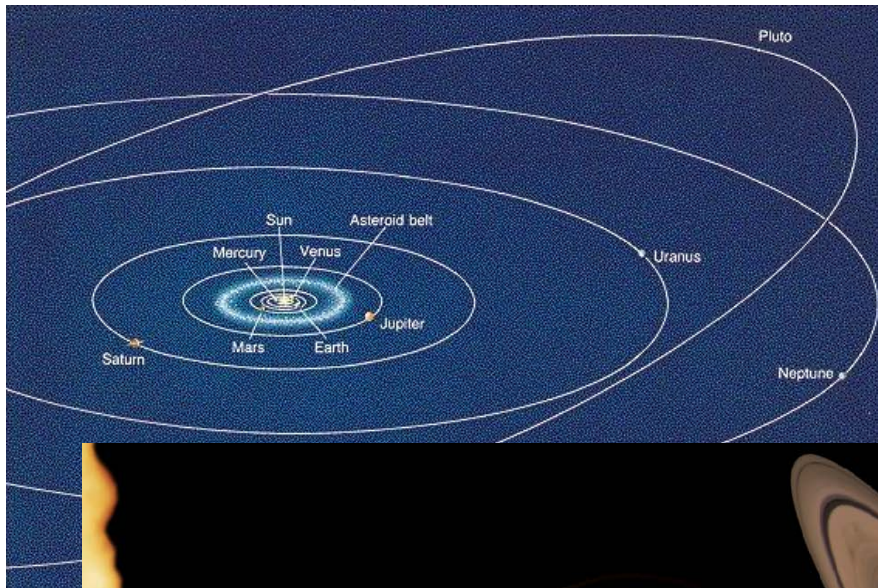


Keplerjev zakon

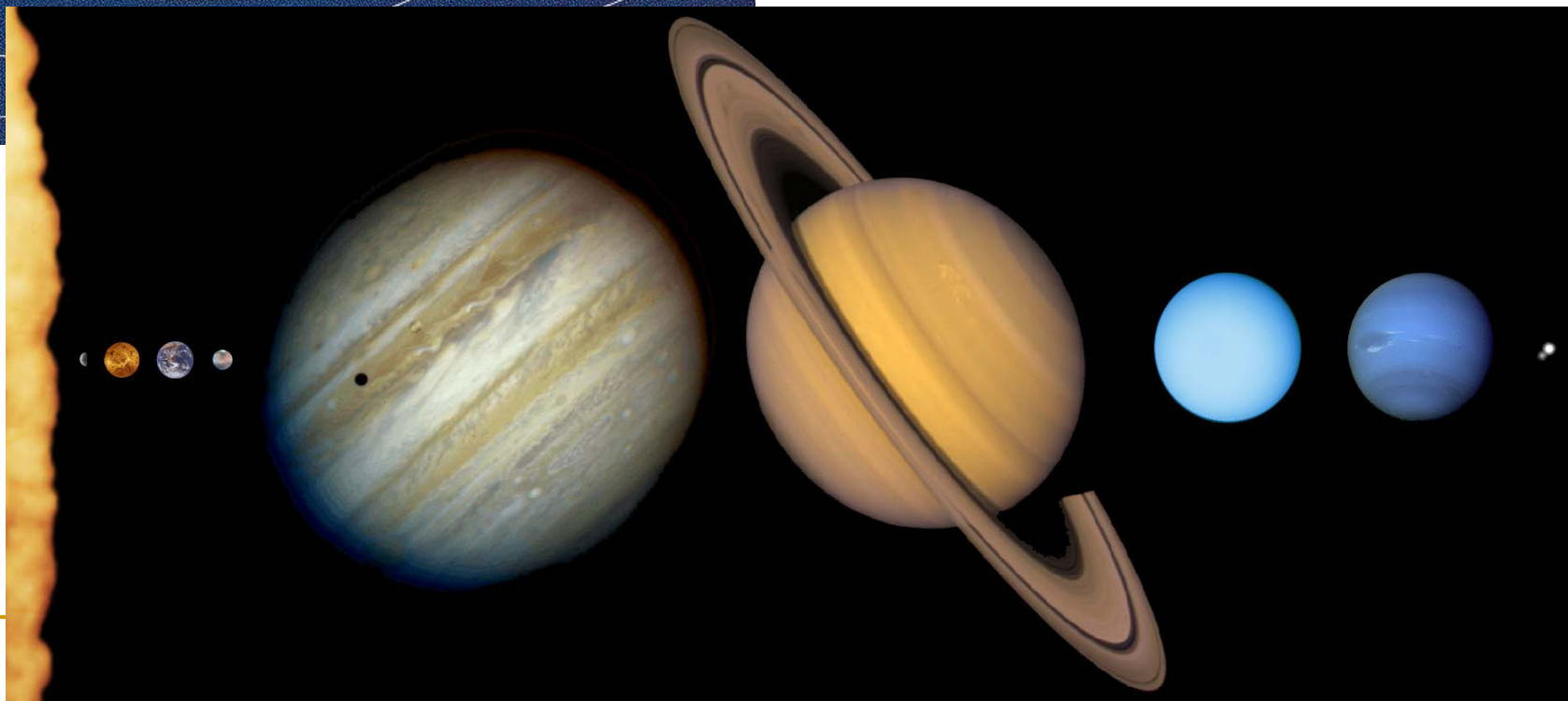
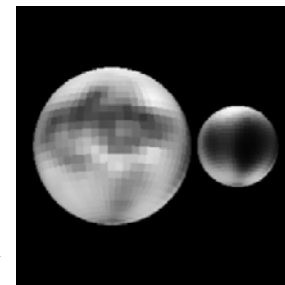
dolžina dneva in let na drugih planetih

Planet	Ekvatorialni premer (km)	Masa (Zemlja..1)	povprečna oddaljenost od Sonca (milijon km)	Orbitalna perioda (pl. leto)	Perioda rotacije (pl. dan)
Sonce	1,392,530	332,948.34	-	-	25.4 dni
Merkur	4,878	0.06	58	88 dni	58.6 dni
Venera	12,104	0.81	108	225 dni	243 dni
Zemlja	12,756	1.00	150	1 leto	1 dan
Mars	6,794	0.11	228	1.9 let	24.6 ur
Jupiter	142,800	317.89	778	11.9 let	9.8 ur
Saturn	120,000	95.14	1,427	29.5 let	10.2 ur
Uran	52,000	14.52	2,870	84.0 let	16-28 ur*
Neptun	48,400	17.25	4,497	164.8 let	18-20 ur
Pluton	3,000	0.10	5,899	247.7 let	6.3 dni

Kaj se je zgodilo Plutonu?

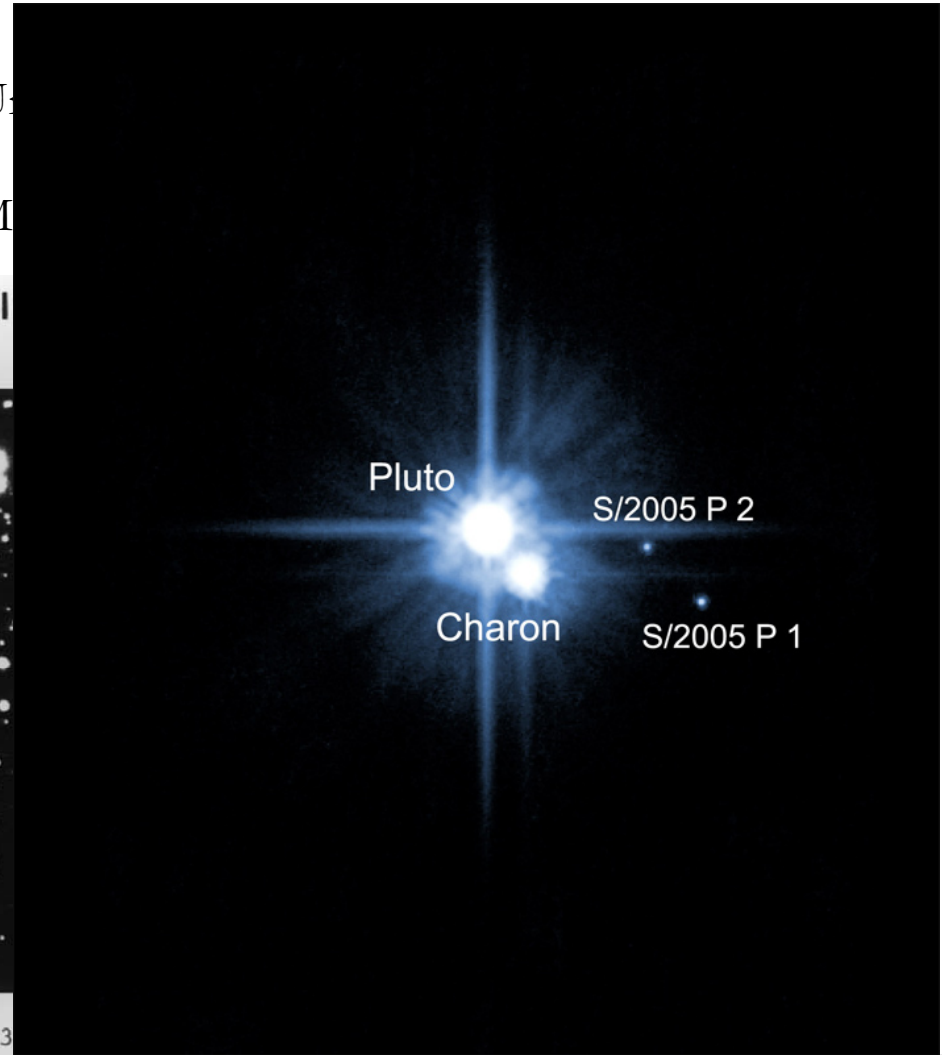
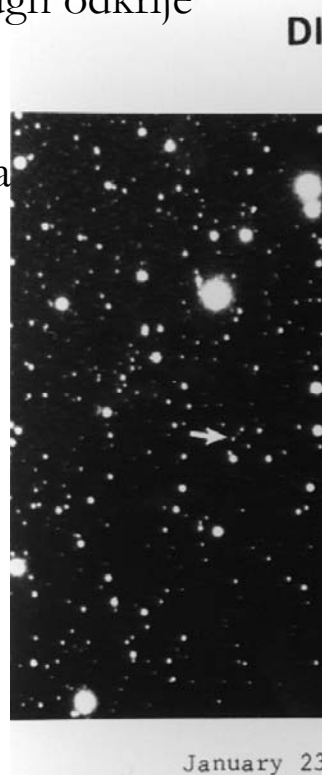


premer=2300 km



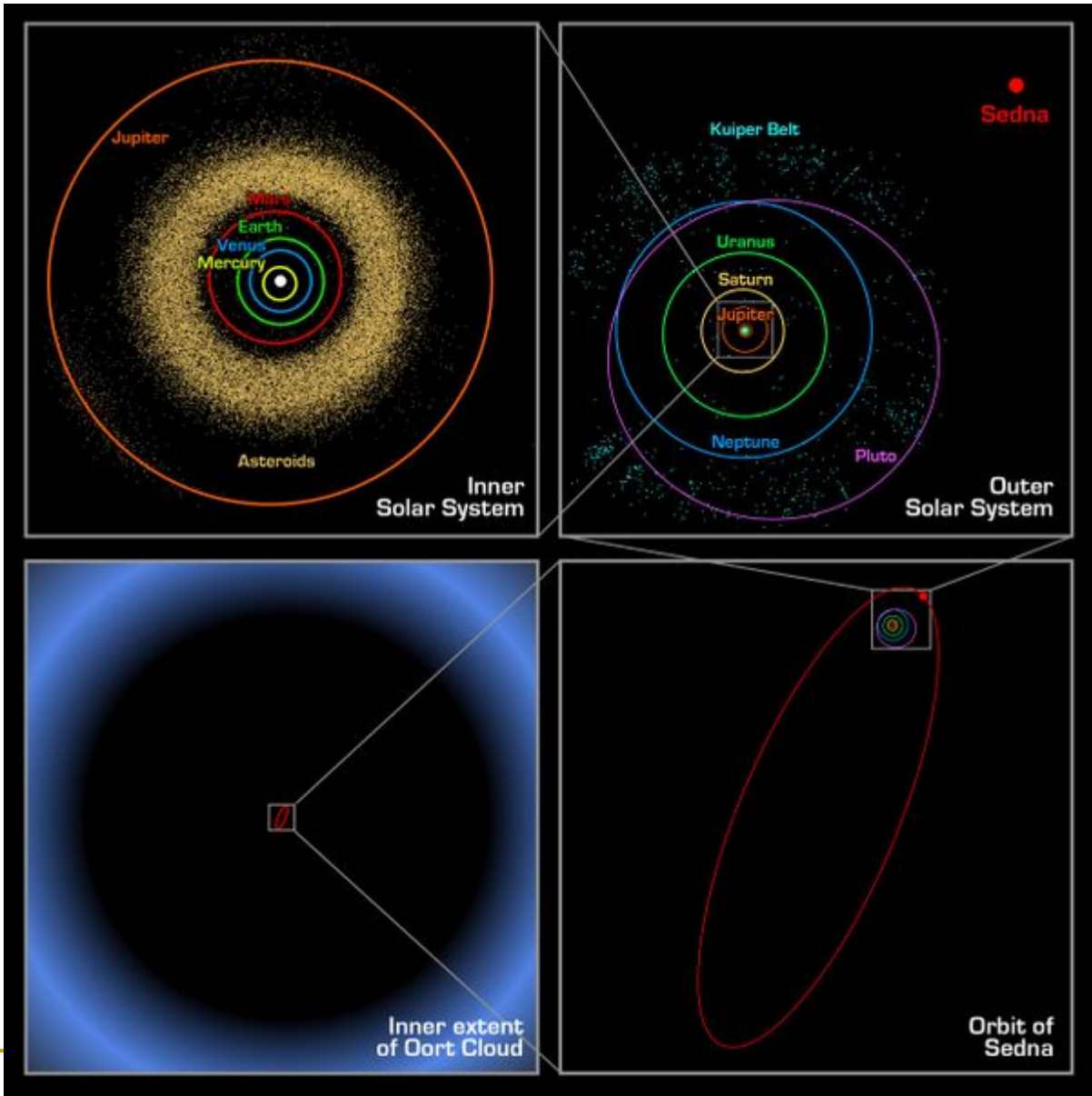
odkritje

- 1781 – W. Herschel odkrije Uran
- 1846 – Adams in Le Verrier iz orbite Ura
isto za Pluton?
- Percival Lowell napove planet z 10 M_J
- 1930 – Clyde Tombaugh odkrije
a premajhen!
- 1970 – Lowell zmotil
- 1978 – Plutonova luna
– $M=0.001 M_{Zemlje}$
le naključje!

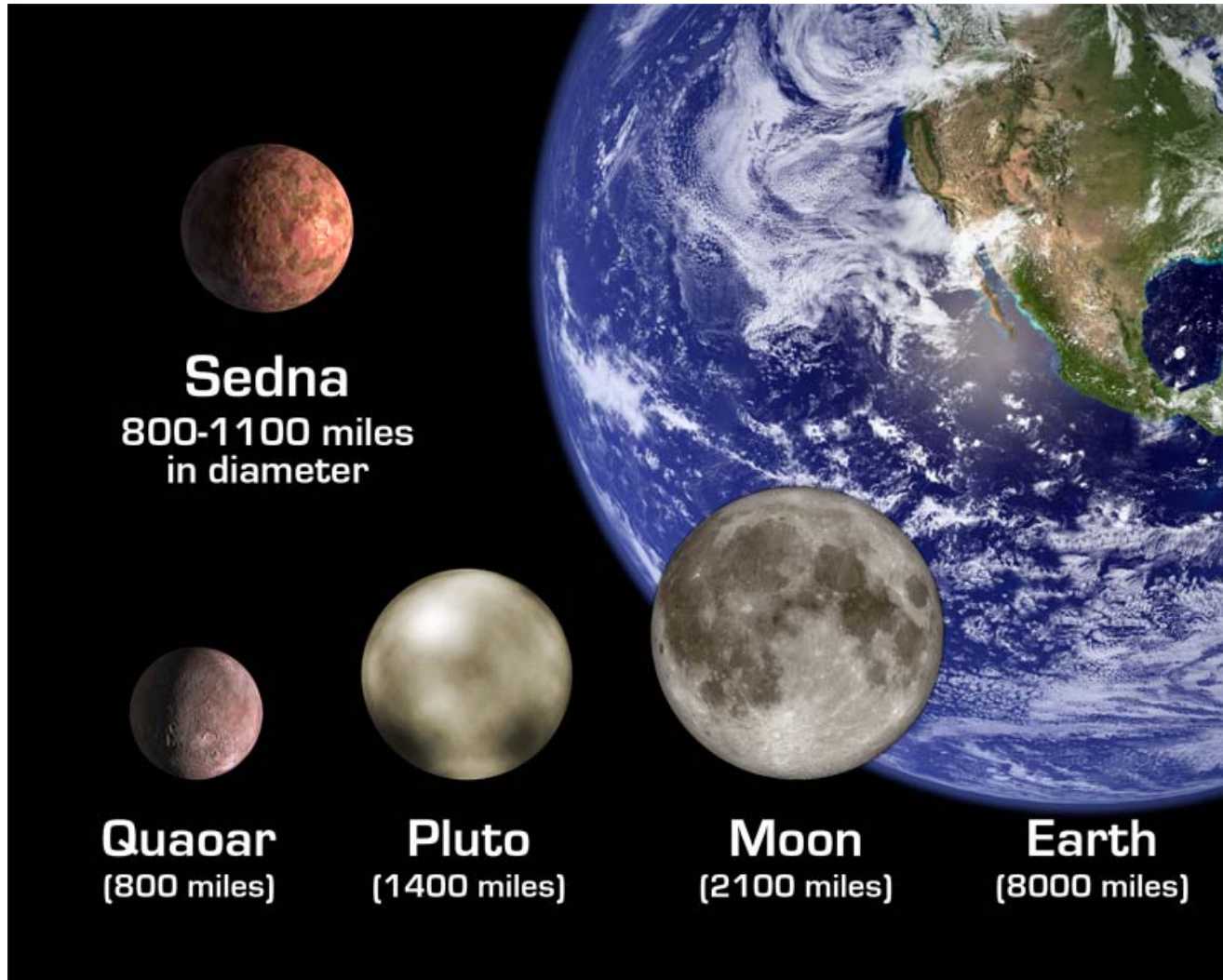


TNO – TransNeptunian Objects

- 1990-ta: Jewitt in Luu odkrijeta prvega, nato ~ 1000 , vsi majhni
 - 2002: Varuna 1000 km, Quaoar 1300 km
 - 2003: Sedna 2000 km
 - 2005: 2003 UB₃₁₃ (Eris) > 2300 km
-



definicija planeta?



IAU 2006: “Pluton je pritlikav planet.”

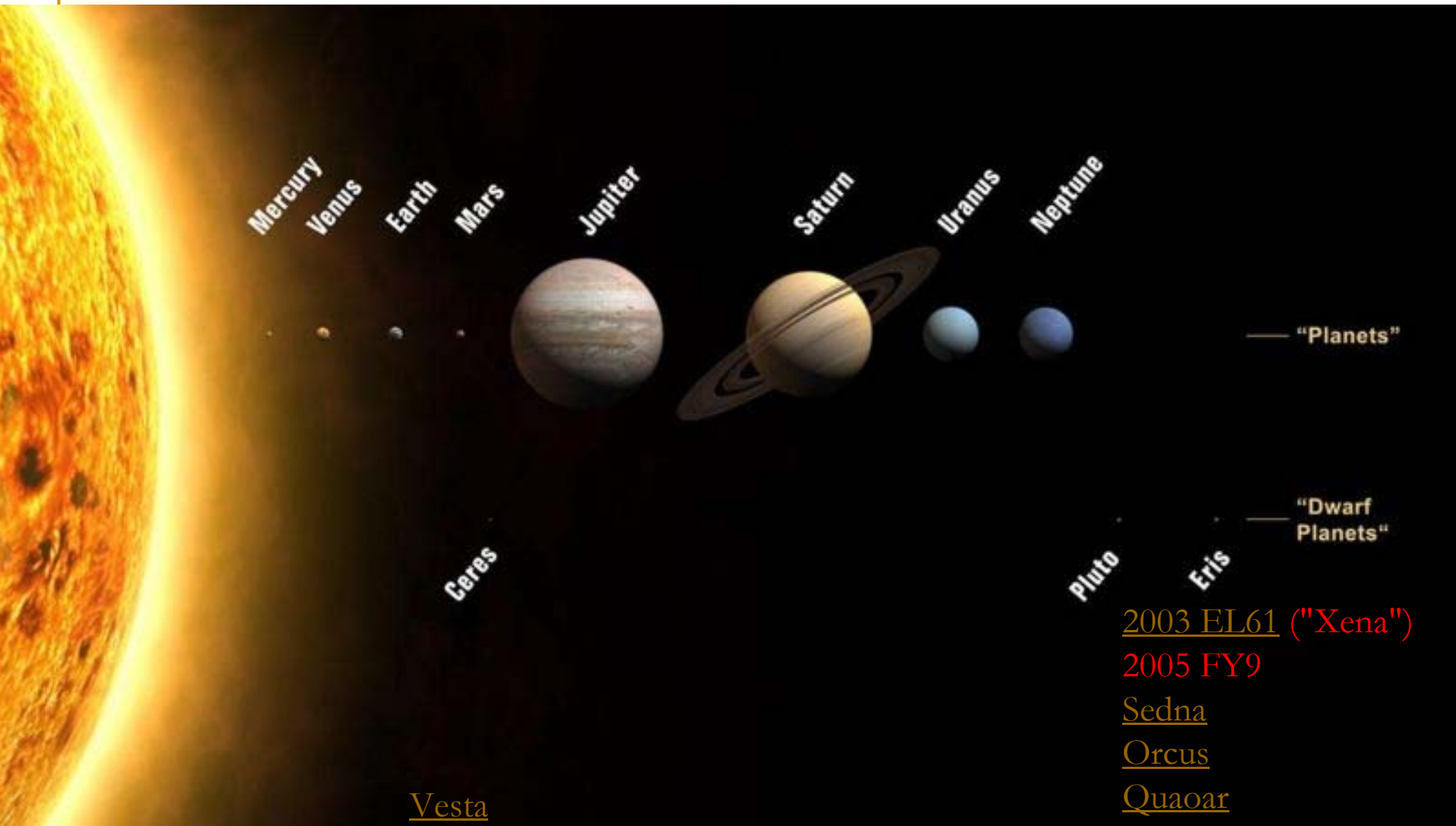
- International Astronomical Union – ustanovljena 1919 – mednarodni standardi: meje med ozvezdji, imena objektov ipd.
- Praga, aug. 2006: tri skupine: planeti, pritlikavi planeti, majhna telesa
- planet je telo, ki je:
 1. na tirnici okoli Sonca,
 2. pod vplivom lastne gravitacije okroglo,
 3. “očistilo” svojo tirnico okoli Sonca

Pluton ne izpolnjuje 3. pogoja in spada med pritlikave planete!

"What's in a name?
That which we call a rose
By any other name
would smell as sweet."

W. Shakespeare:
Romeo and Juliet (II, ii, 1-2)





Mercury

Venus

Earth

Mars

Jupiter

Saturn

Uranus

Neptune

— "Planets"

Ceres

Pluto

Eris

— "Dwarf Planets"

2003 EL61 ("Xena")

2005 FY9

Sedna

Orcus

Quaoar

Vesta

Pallas

Hygiea

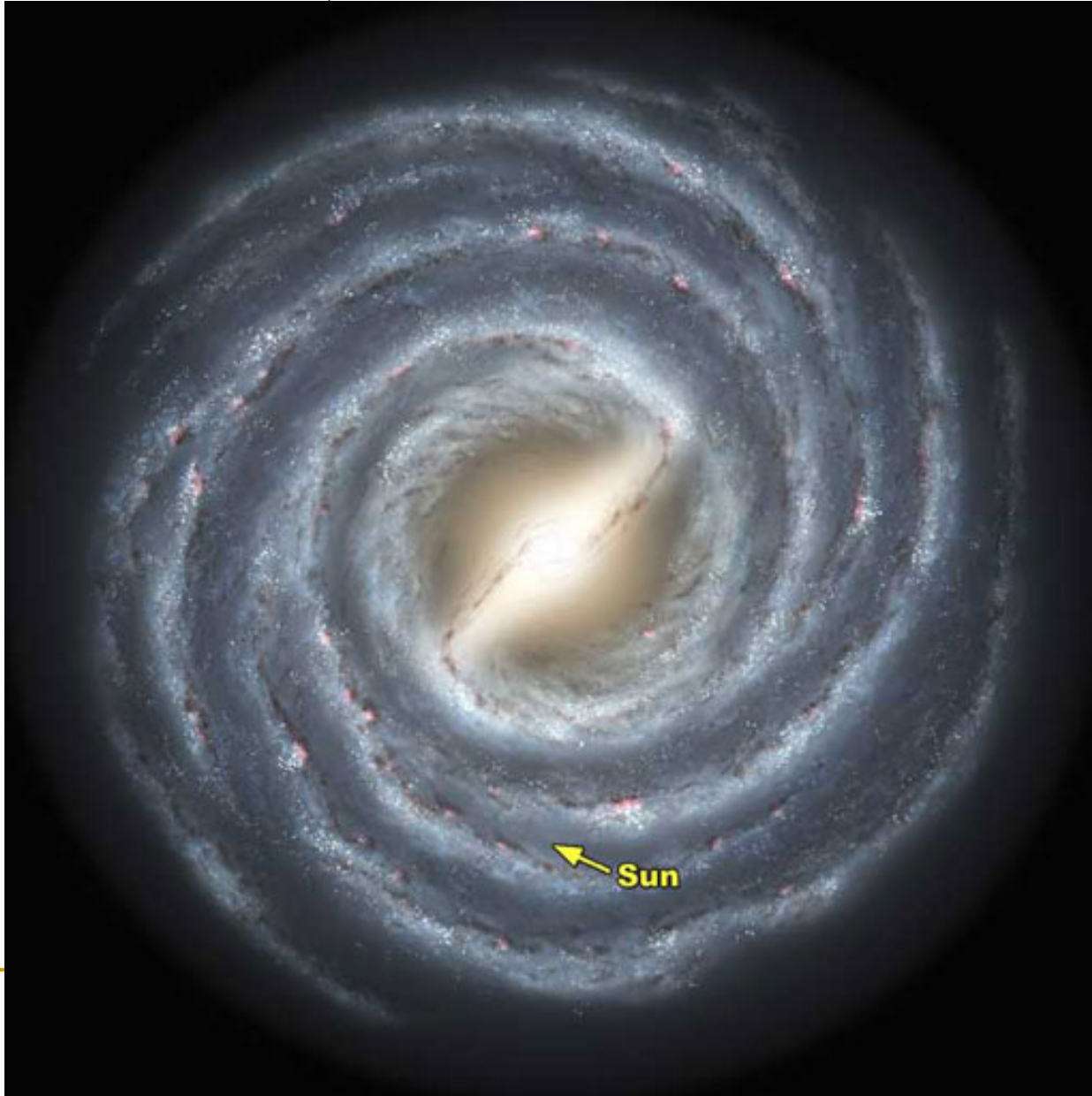
Varuna

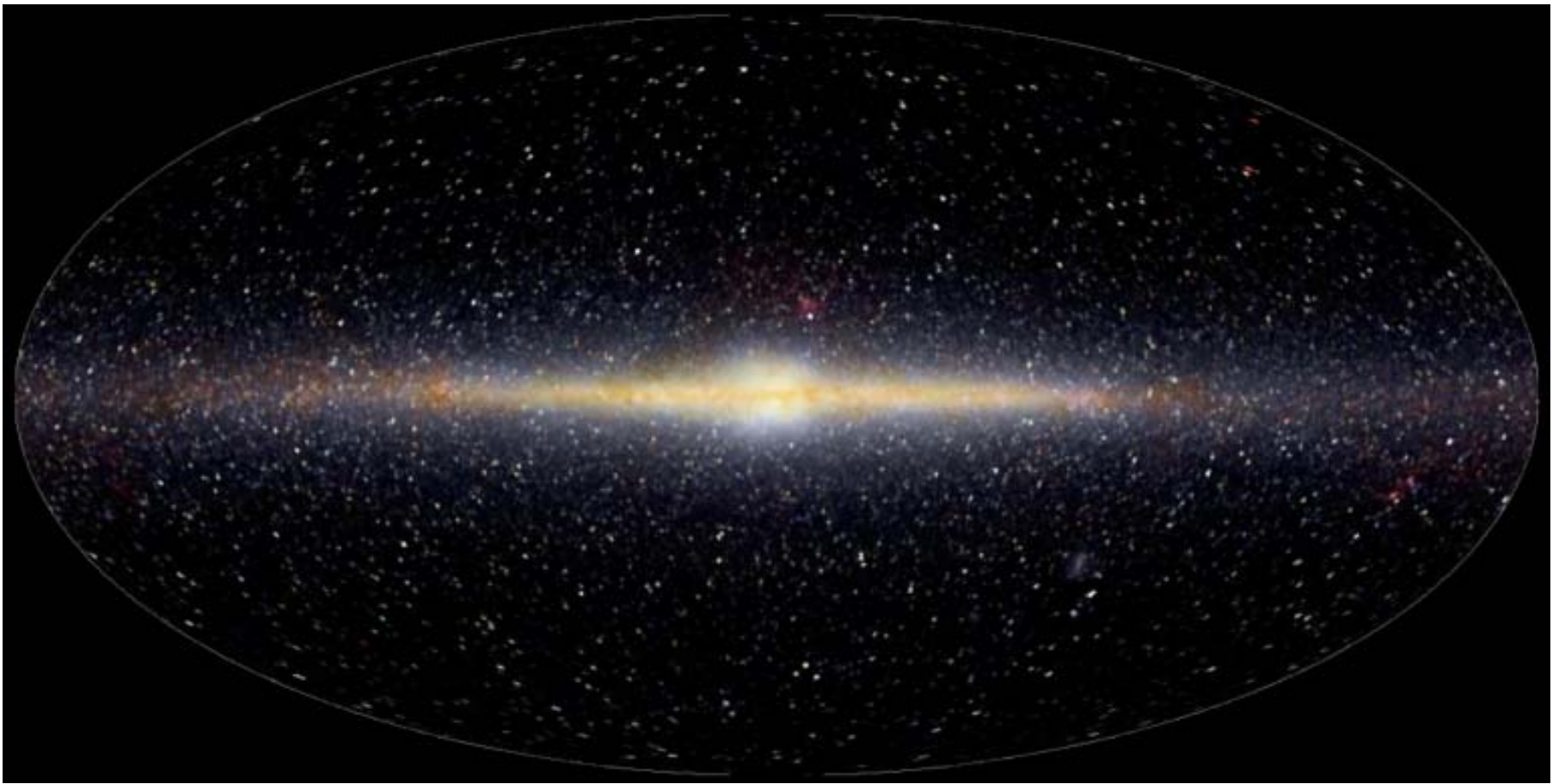
2002 TX300

Ixion

2002 AW197

mi in Galaksija





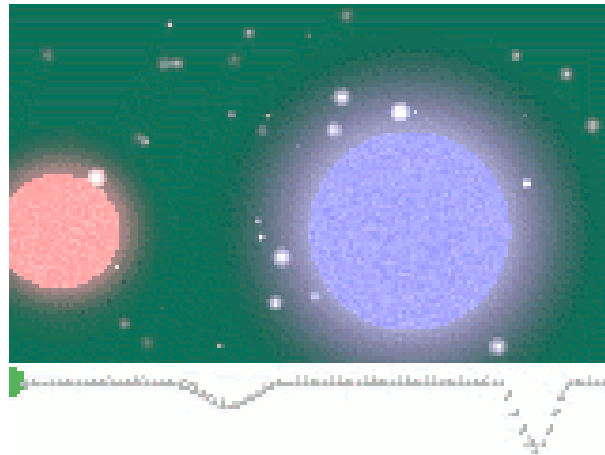
The Deep Sky



Kako “videti” planet okrog druge zvezde?

- daleč
- zvezda veliko svetlejša

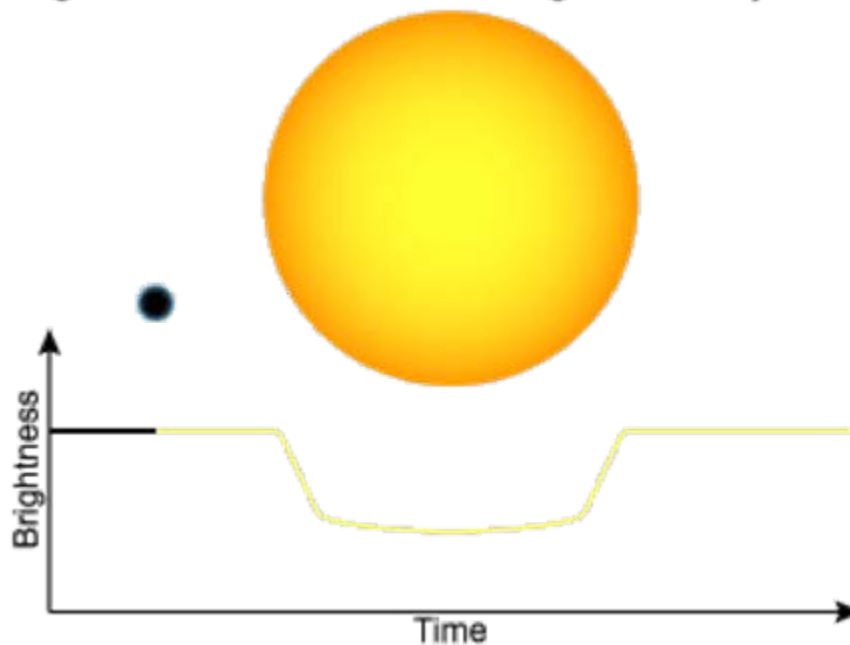
Pri dvojnih zvezdah:



tranzitna metoda

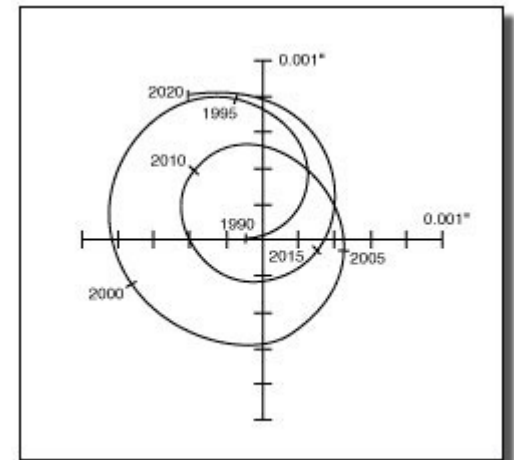
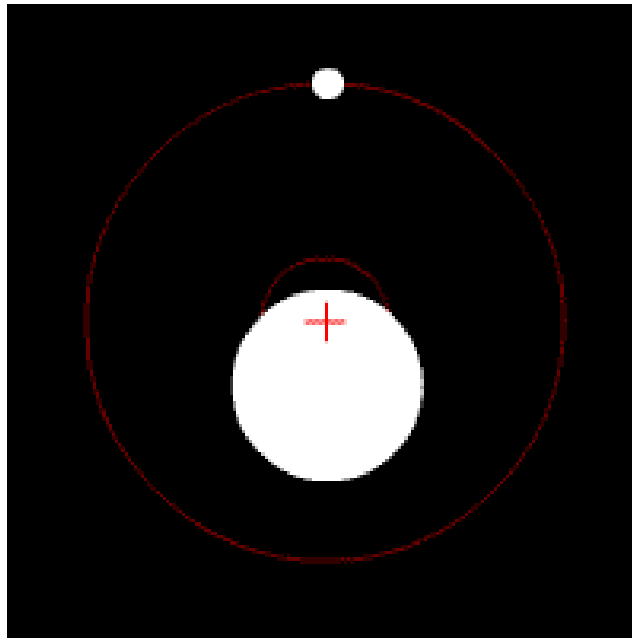
planet prekrije zvezdo

Light Curve of a Star During Planetary Transit

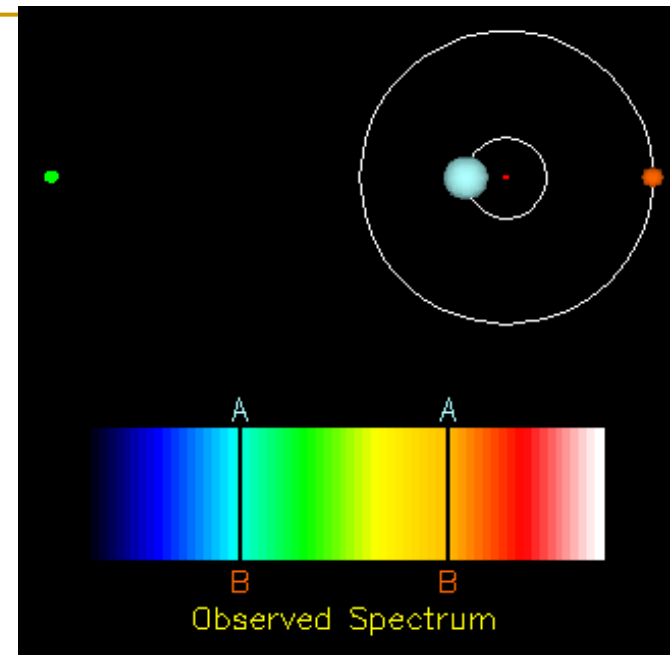
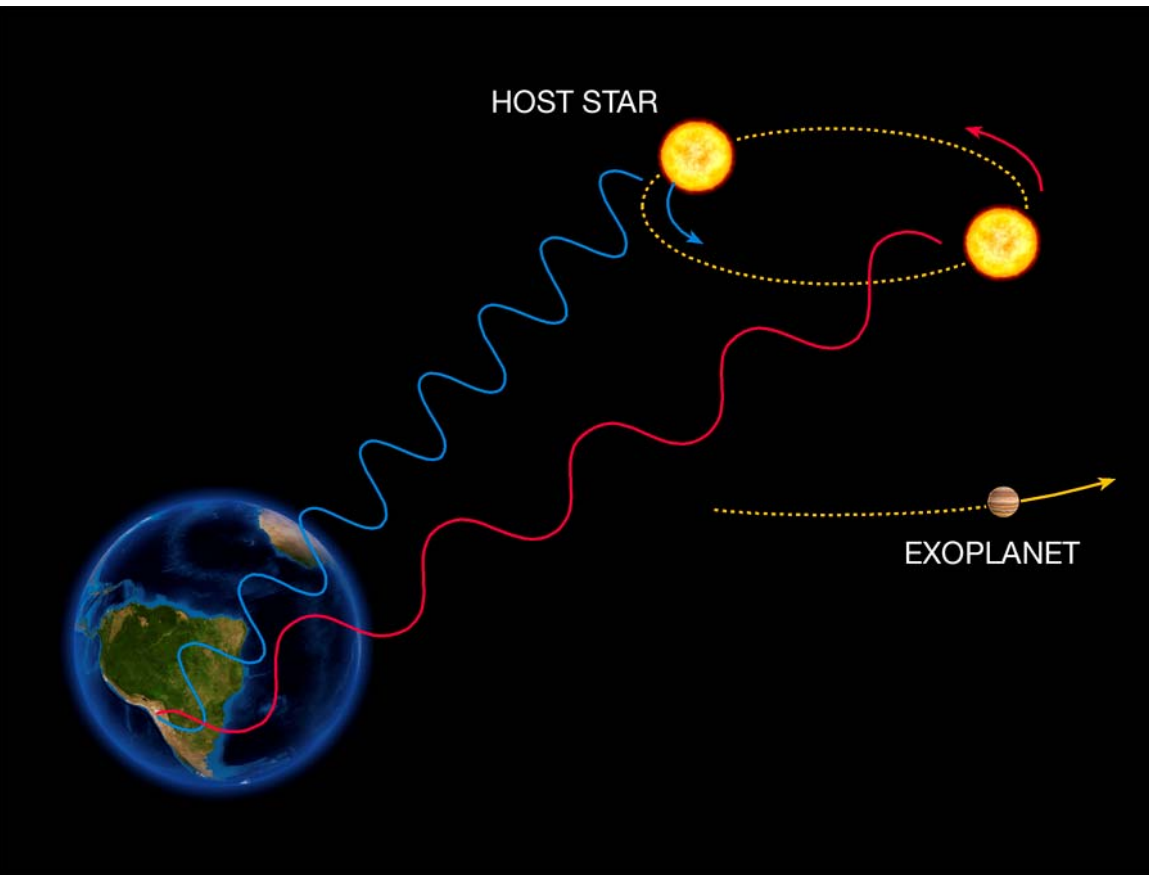


astrometrija

- točno merjenje položaja
- gravitacijski vpliv planeta na gibanje zvezde



radialna hitrost

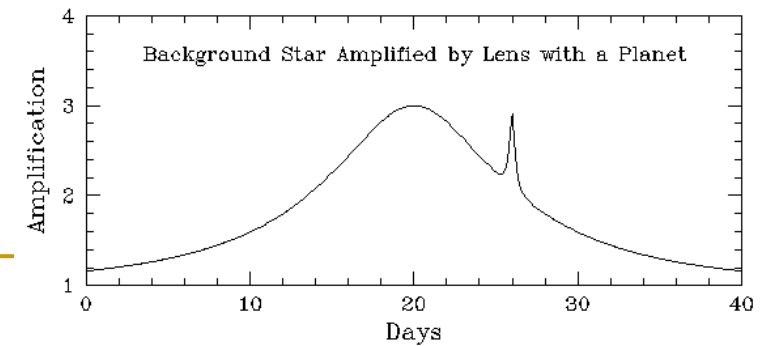
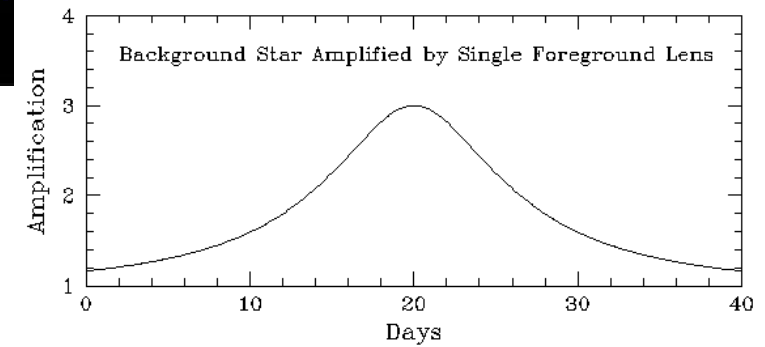
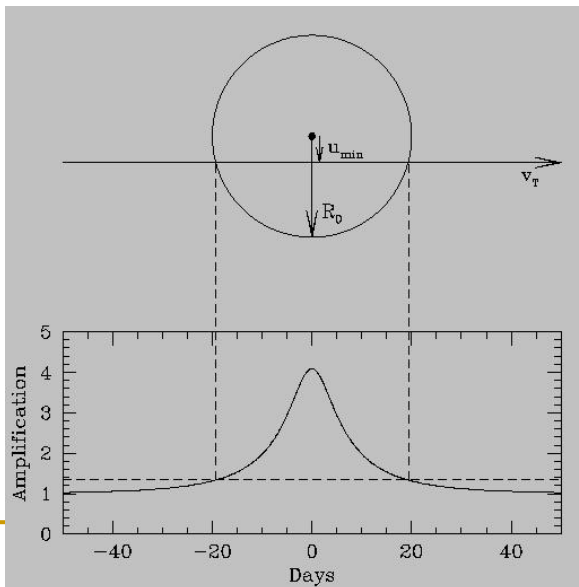
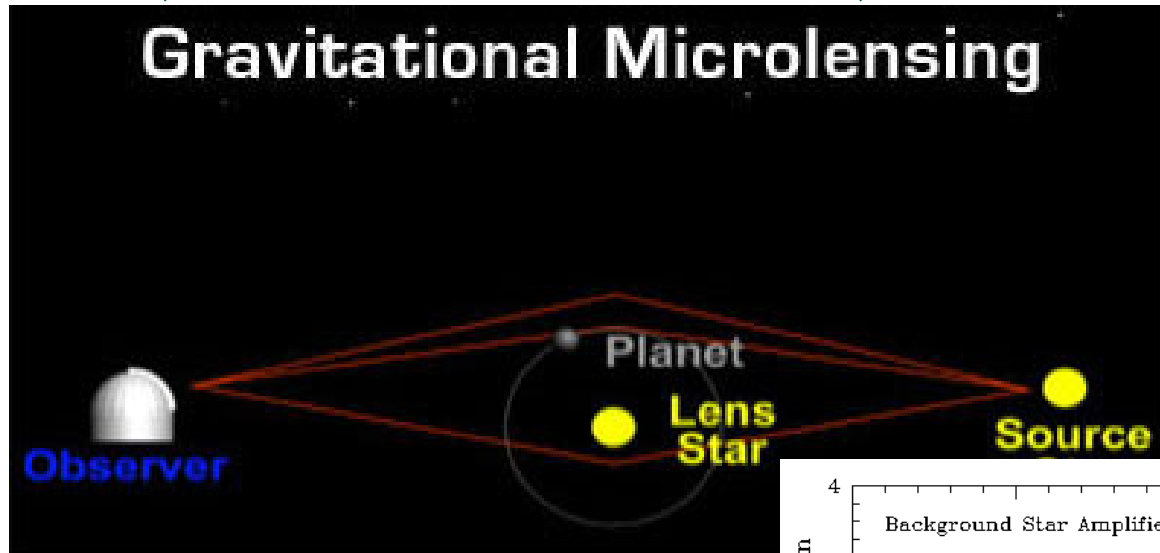


merjenje Dopplerjevega
premika spektralnih črt:

$$\Delta v/v = v/c$$

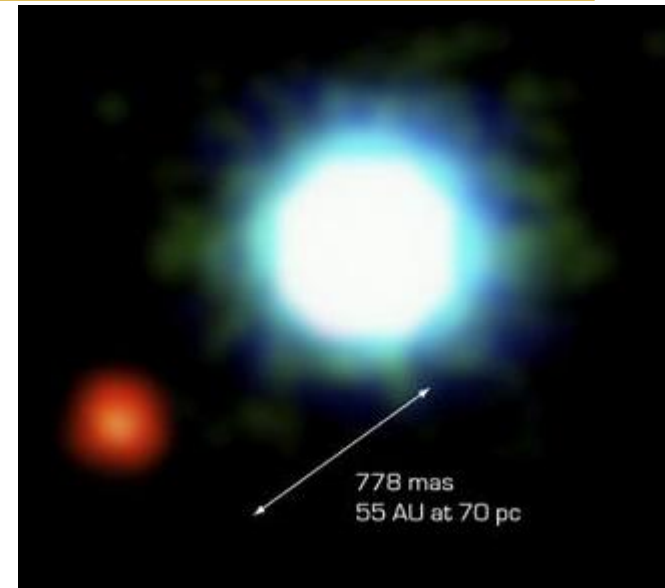
The Radial Velocity Method

gravitacijsko mikrolečenje

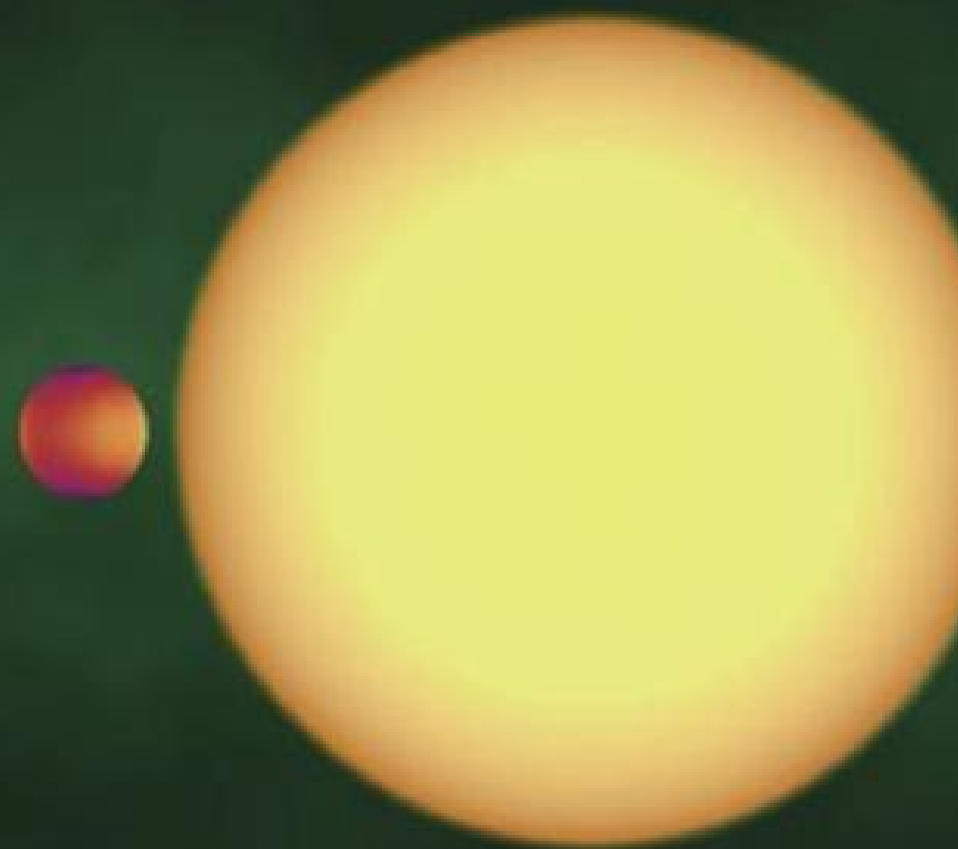
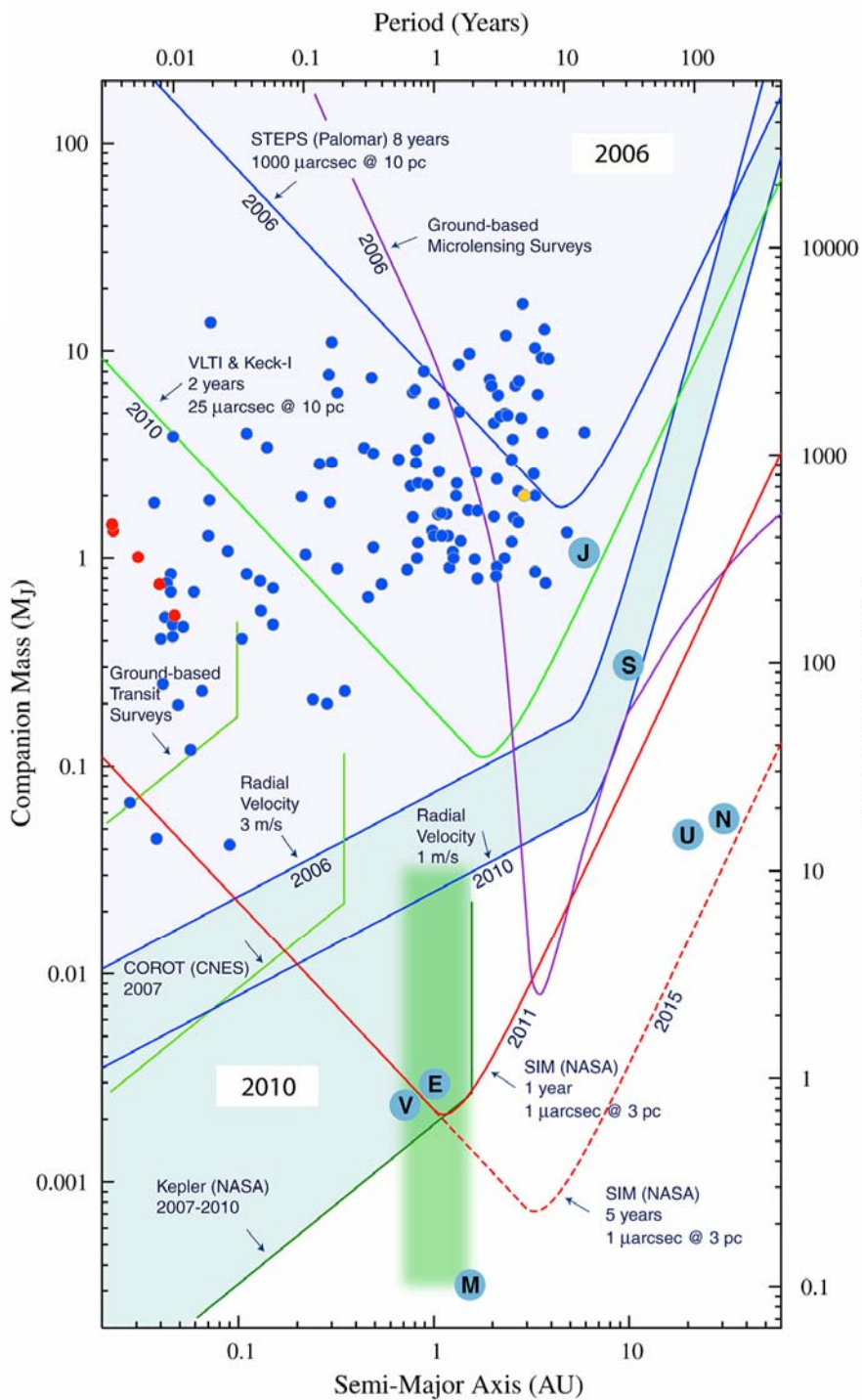


Planeti v drugih osončjih

- odkritje: 1855?, 1890?, 1950-60?, 1988 (2003!), 1991?
- 1992: Wolszczan in Frail: planeti okrog pulzarja PSR 1257+12
- 1995: Mayor in Queloz: 1. planet okoli zvezde glavne veje 51 Pegaza
- poznanih ~240 planetnih sistemov
 - 293 (?) planetov
 - 26 večplanetnih sistemov



2M1207: rjava pritlikavka in planet, posneto z VLT



do 31. 8. 2004
 modre – radialna hitrost
 rdeče – transit
 rumene - mikrolečenje

pozicije na nebu

imenovanje:

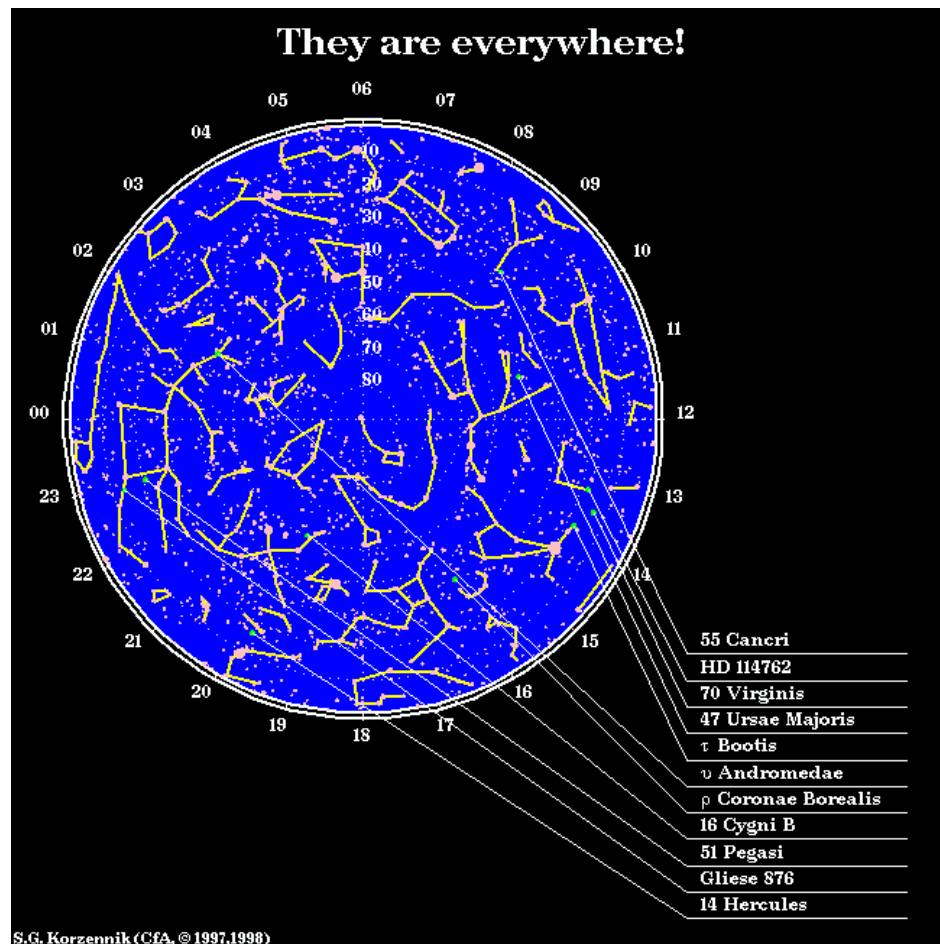
ime zvezde b,c...

po vrstnem redu odkritja

nekateri imajo vzdevke:

Osiris, Bellerophon, Ymir

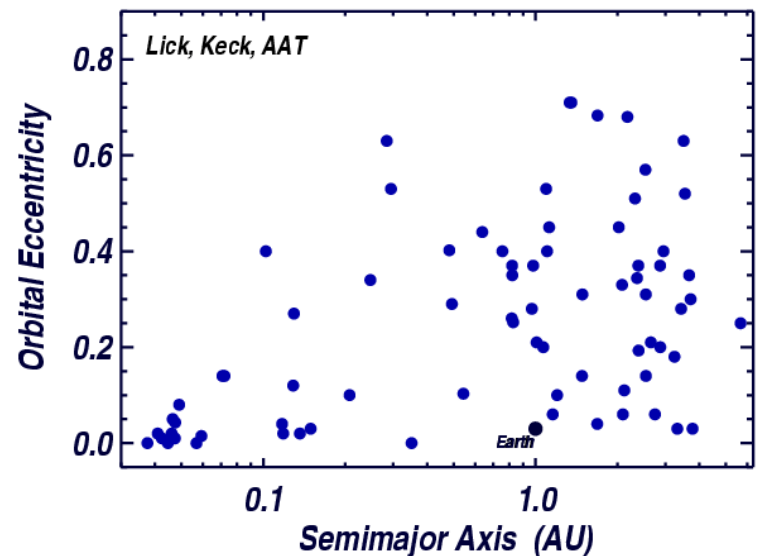
IAU: nepraktično



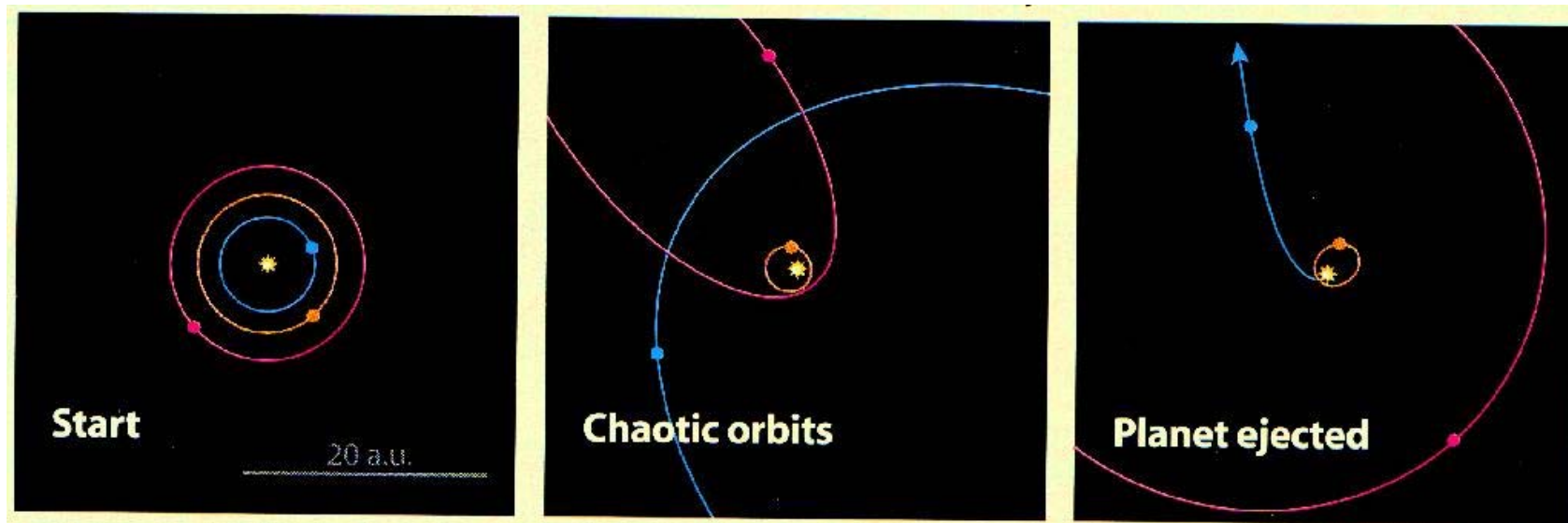
lastnosti

- večina okrog F,G,K zvezd (posledica iskanja)
- pričakovanja: rdeče pritlikavke M in vroče O manj
- večina $> 10 M_{\text{Zemlje}}$ in bližje zvezdi (občutljivost metode): “vroči Jupitri”
- pričakovanja: več majhnih planetov kot velikih
- ekscentričnost tirnic!

$$\varepsilon = \frac{a - b}{a}$$



- Sistem treh ali več orjaških planetov
- Ob bližnjih srečanjih medsebojne gravitacijske motnje
- Nekateri zletijo ven, tirnice ostalih postanejo močno ekscentrične

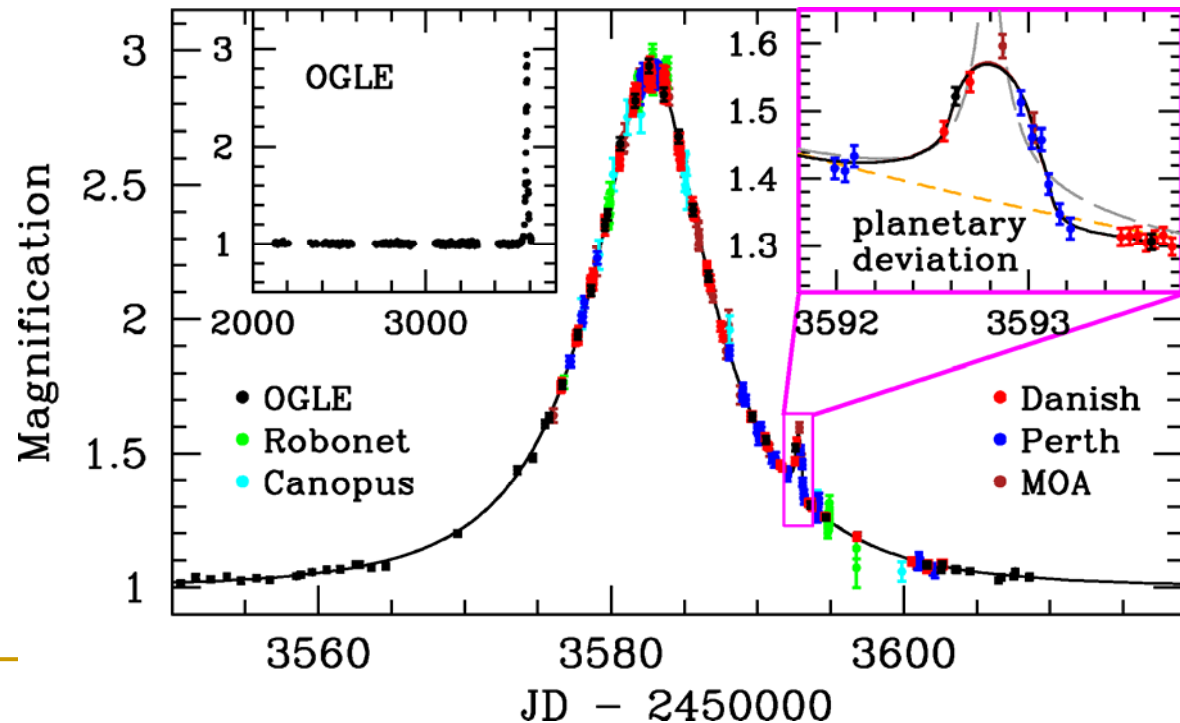


-
- Druge razlage velike ekscentričnosti:
 - Gravitacijske motnje mimoidoče zvezde
 - Gravitacijske motnje protoplanetarne diska
 - Gravitacijske motnje zvezde spremljevalke

 - Krožne tirnice planetov v našem Osončju **niso naključje!**
 - Če Jupiter ne bi imel krožne tirnice, Zemlje in Marsa danes ne bi bilo v Osončju
 - V sistemih, kjer imajo orjaški planeti močno ekscentrične orbite, ni malih planetov
-

OGLE-2005-BLG-390Lb

- $5.5 M_{\text{Zemlje}}$ – okrog MS zvezde
- 2.6 AU, 21.000 sv. let proti središču Galaksije
- najhladnejši?
-220° C



Gliese 581

20 sv. let daleč, 3 planeti

581d z $5M_Z$, 0.25 au v “habitable zone”



The Planetary System in Gliese 581
(Artist's Impression)

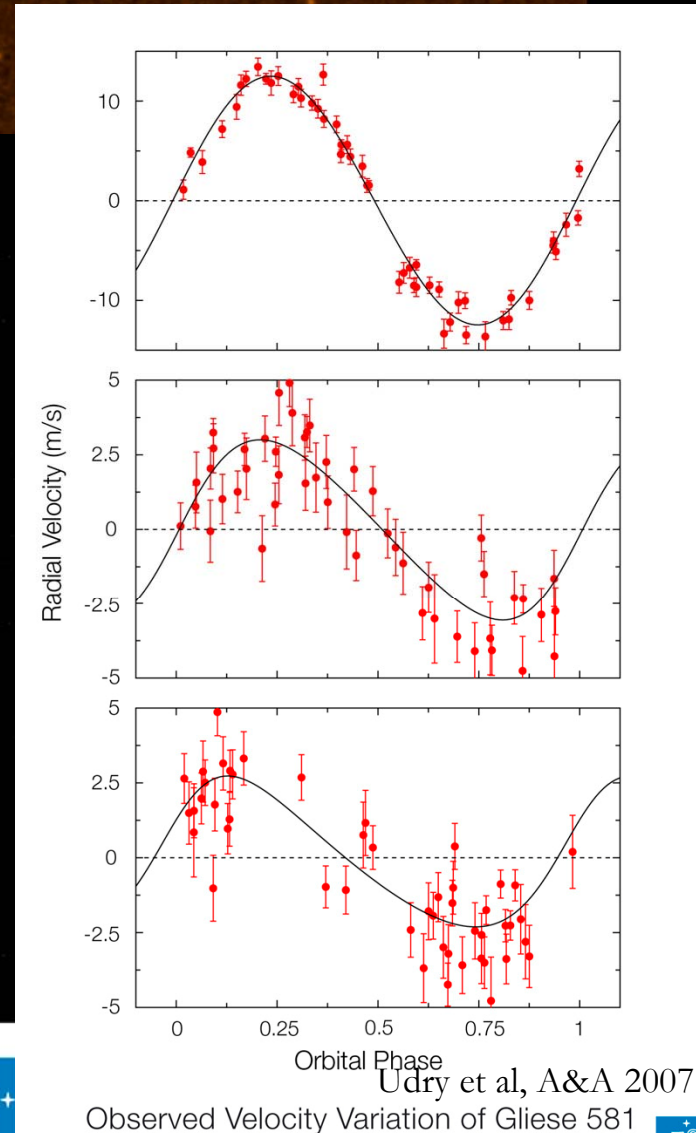
ESO Press Photo 22a/07 (25 April 2007)

This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.

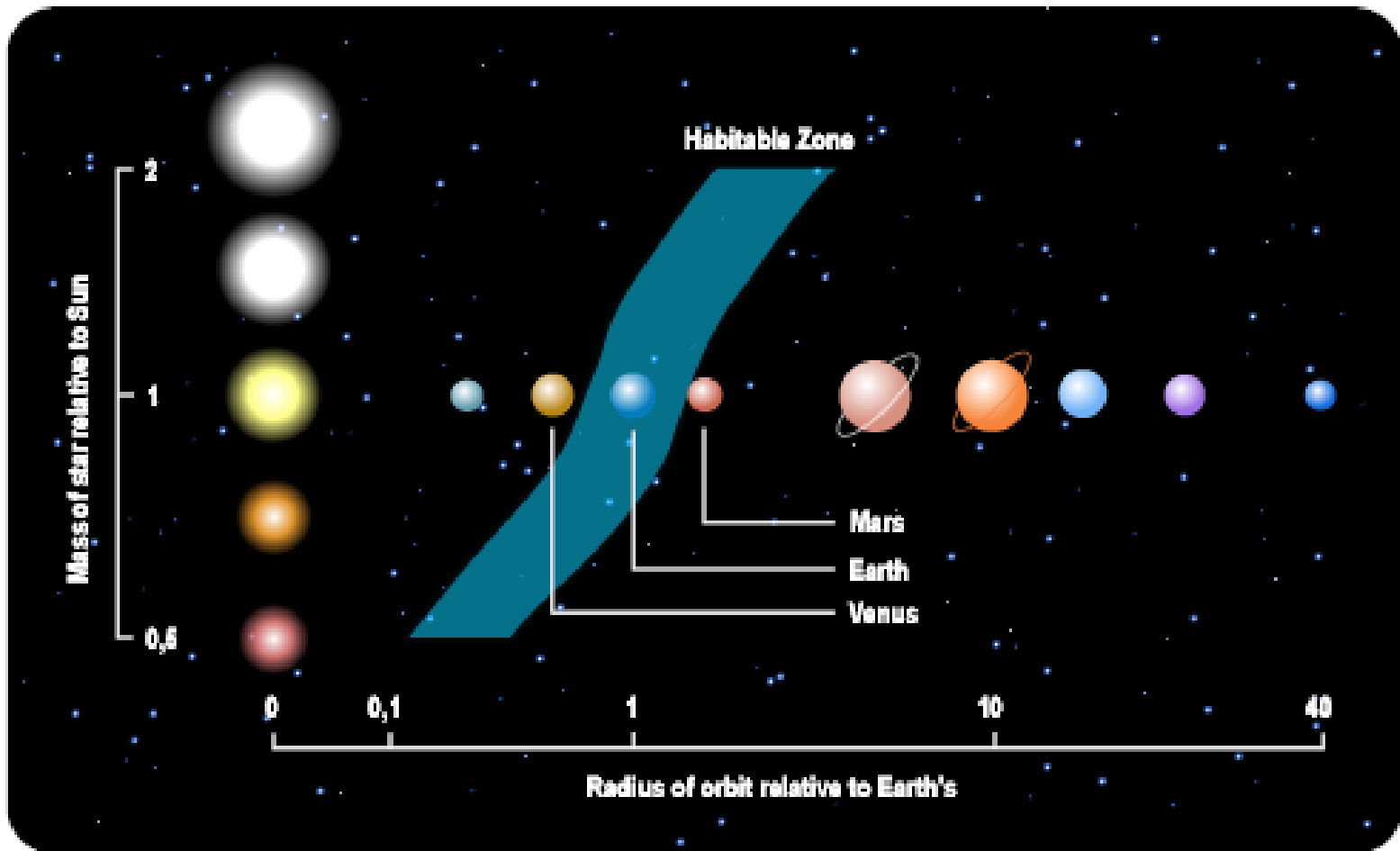


ESO Press Photo 22d/07 (25 April 2007)

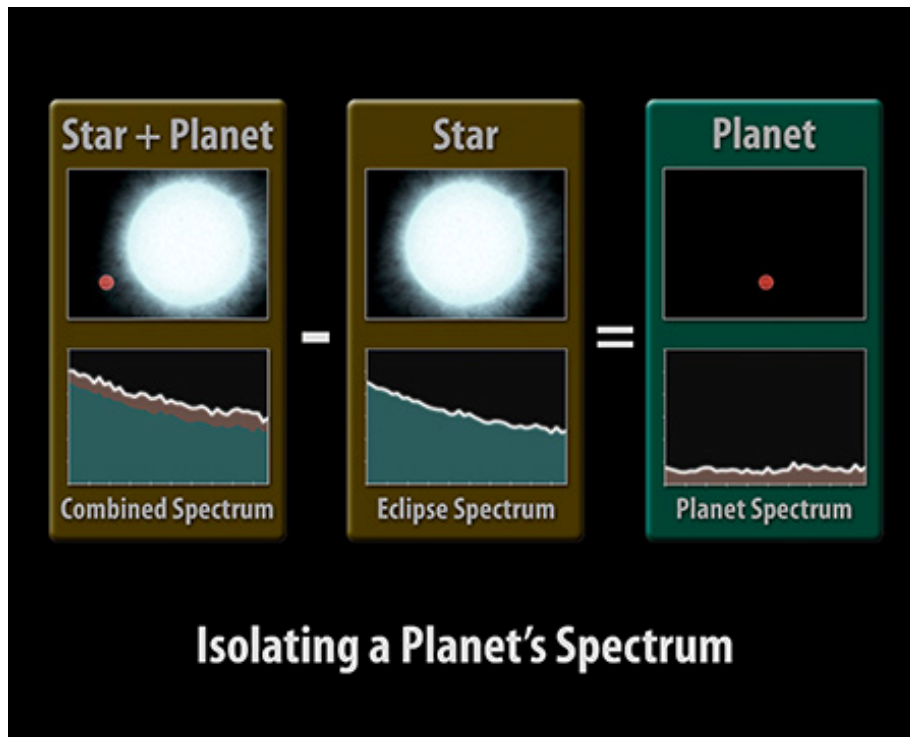
This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.



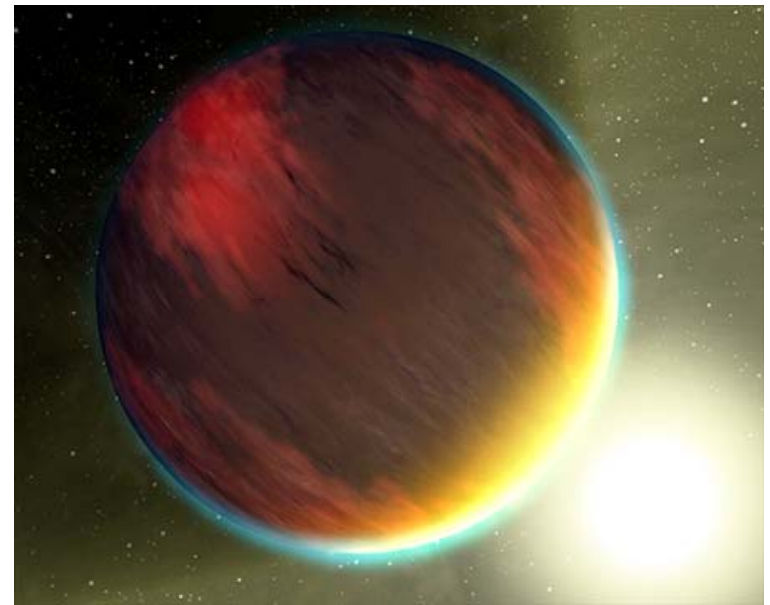
“Habitable zone” - naselitvena cona – cona Zlatolaske



spekter



spekter HD209458b in HD
189733b – silikatni oblaki,
vodna para?



Projekti iskanja planetov

Kepler

GAIA



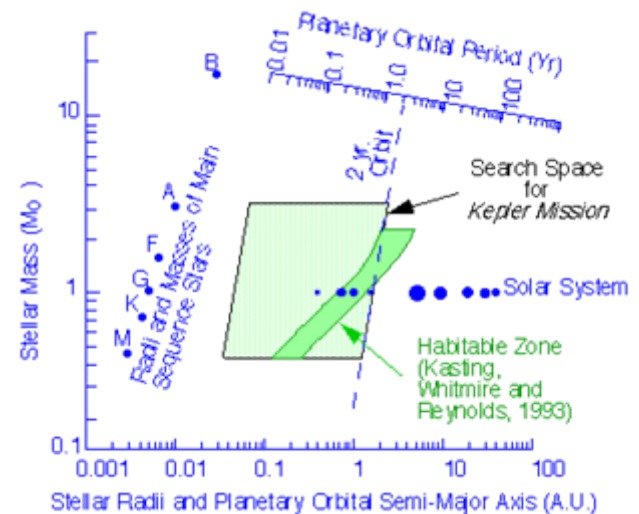
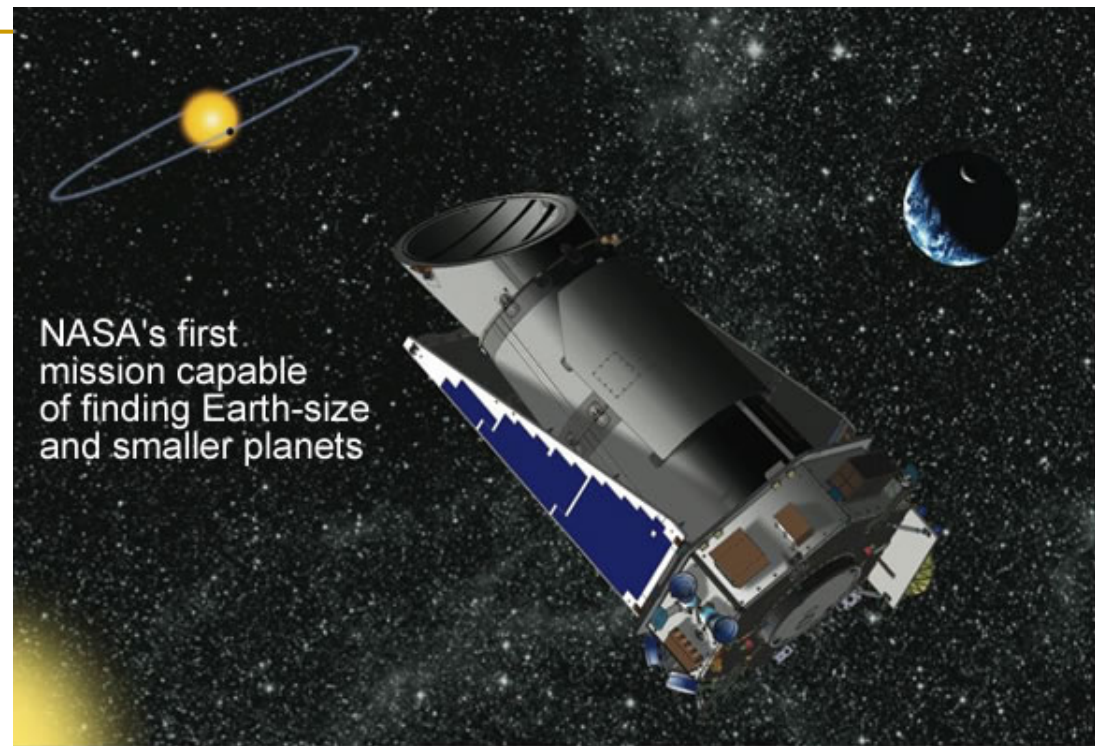
TPF

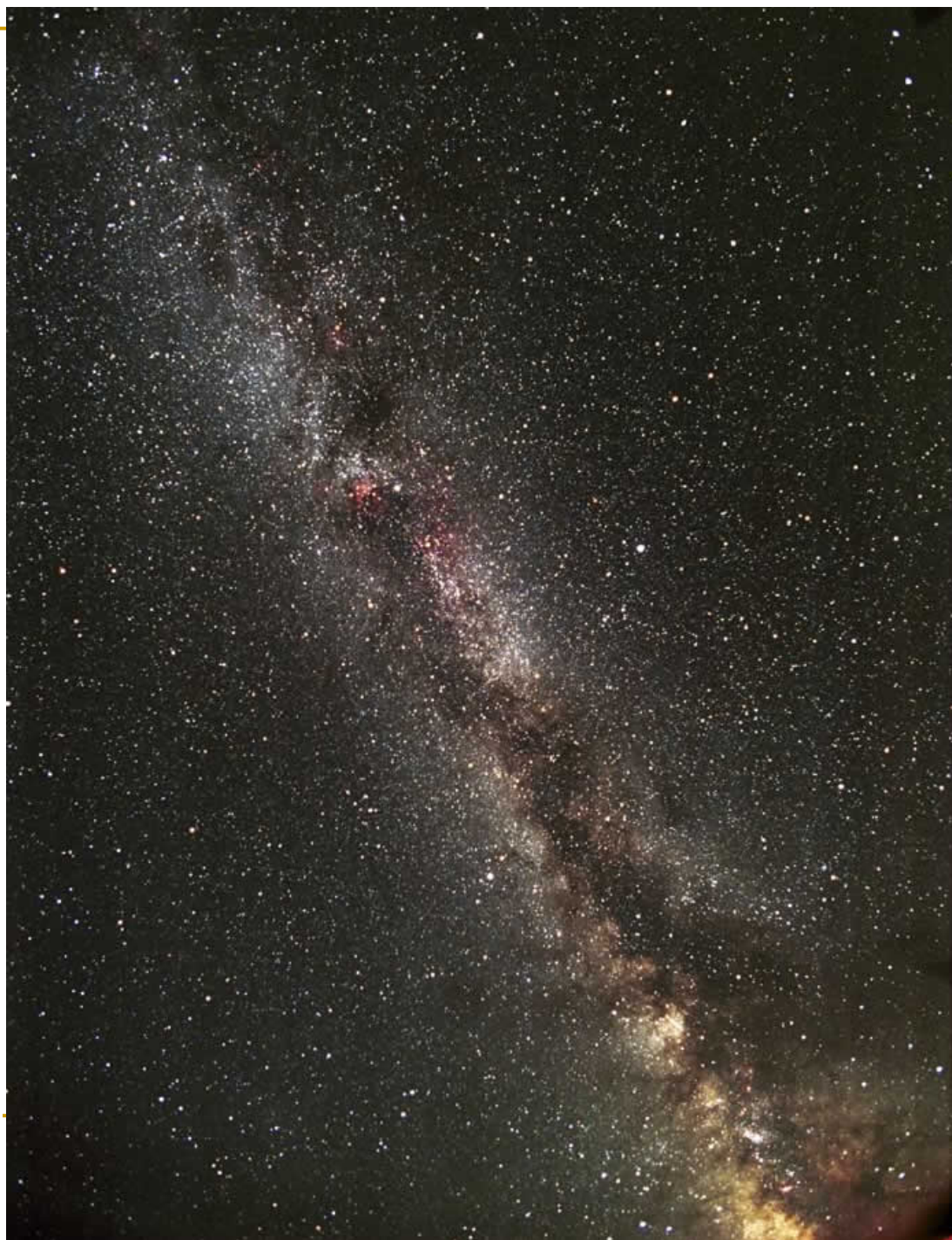
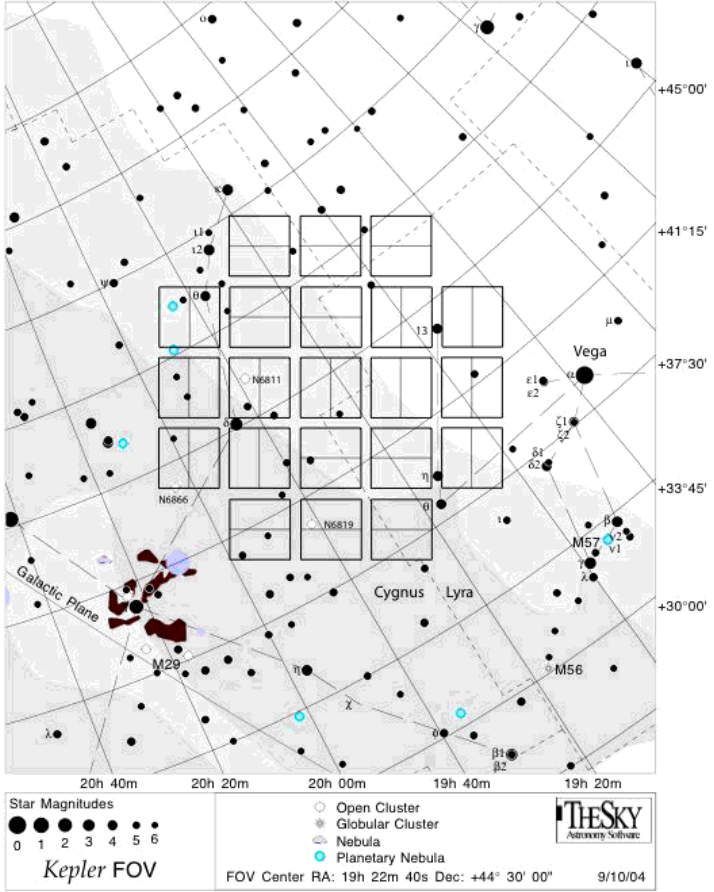


SIM PlanetQuest

Kepler (NASA, feb 2009)

- specializirana misija za detekcijo kamnitih planetov velikosti Zemlje
- testiral bo hipotezi:
 - večina zvezd glavne veje ima kamnite planete v habitadni coni
 - v povprečju sta med 0.5 in 1.5 a.e. dva zemeljska planeta





- detekcija nemogoča z Zemlje:

- atmosfere motnje spreminjajo svetlost zvezd
- kratko-periodični dogodki ... potrebno sodelovanje mnogo zemeljskih teleskopov
- boljše, ker tudi v IR

- svetlost zvezd se spreminja tudi iz drugih razlogov (npr. spreminjanje Sončeve aktivnosti, vrtenje in pege):

- variacije na časovnih skalah ur so na srečo manjše od spremembe svetlosti zaradi prehoda (sprememba izseva ... ~100ppm)

- zakaj HST ni v redu:

- ni specializirana misija
 - veliko premajhno zorno polje
-

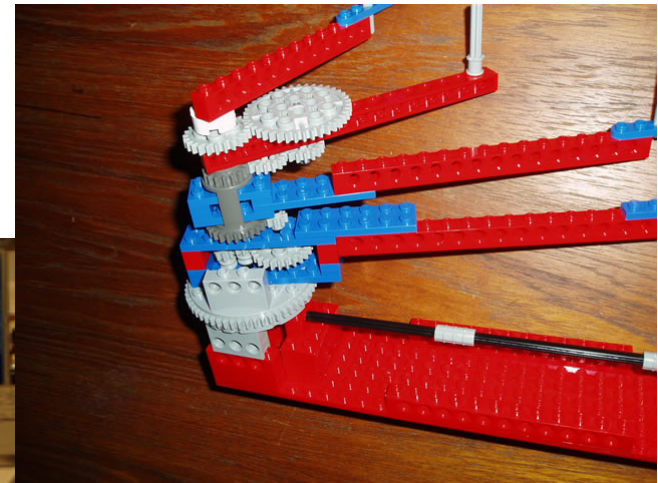




<http://kepler.nasa.gov/ed/sim/>
<http://kepler.nasa.gov/ed/>

Kepler

- <http://kepler.nasa.gov/ed/>



več

satelit Gaia – leta 2011-12



GAIA

10 kpc

1000 million objects
measured to 1 = 20

20 kpc

>20 globular clusters
Many thousands of Cepheids and RR Lyrae.

Horizon for proper motions
accurate to 1 km/s

Mass of galaxy from
rotation curve at 15 kpc

Sun

30 open clusters
within 500 pc

Dark matter in disc measured
from distances/motions of K giants

Horizon for detection of
Jupiter mass planets (200 pc)

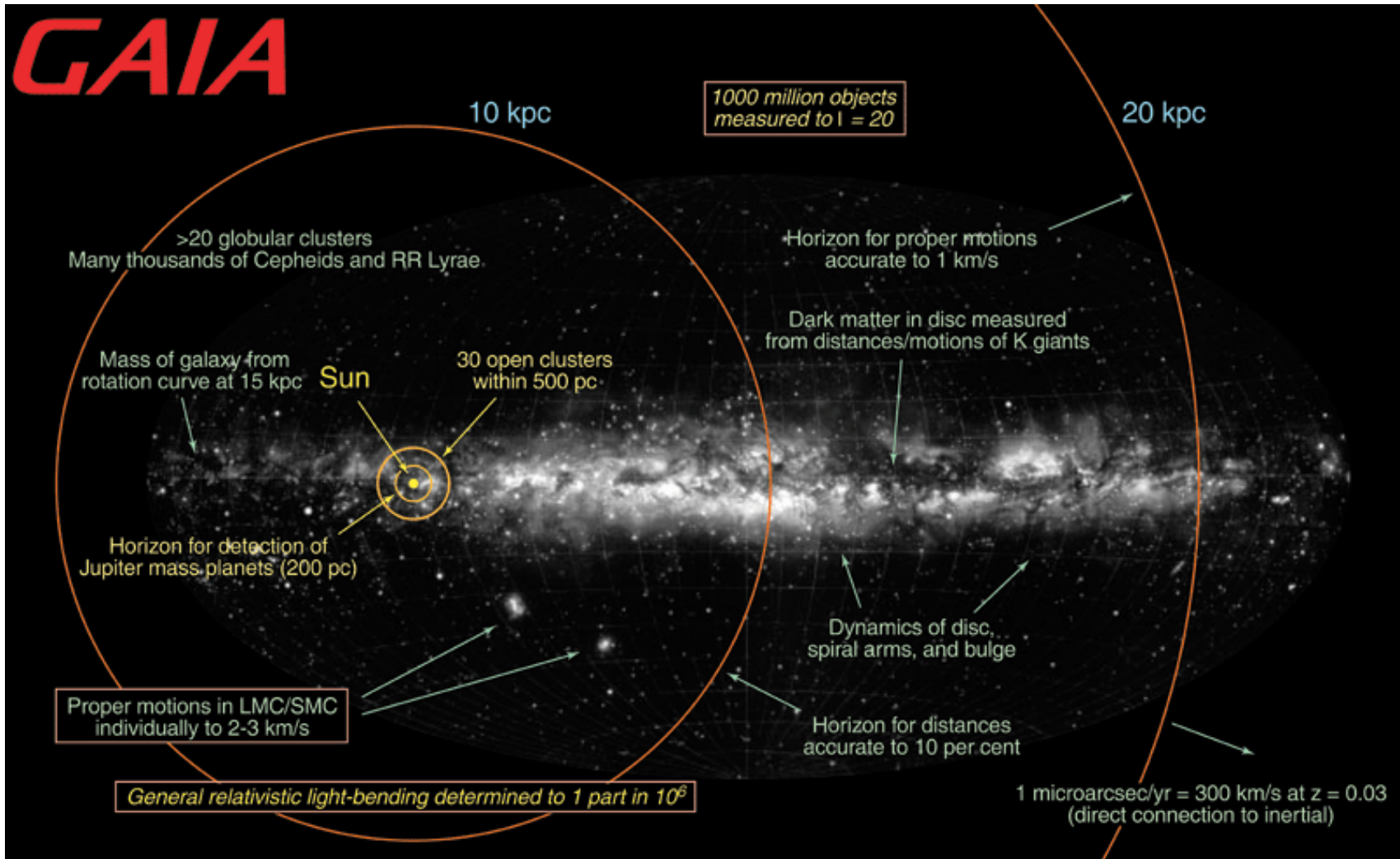
Dynamics of disc,
spiral arms, and bulge

Proper motions in LMC/SMC
individually to 2-3 km/s

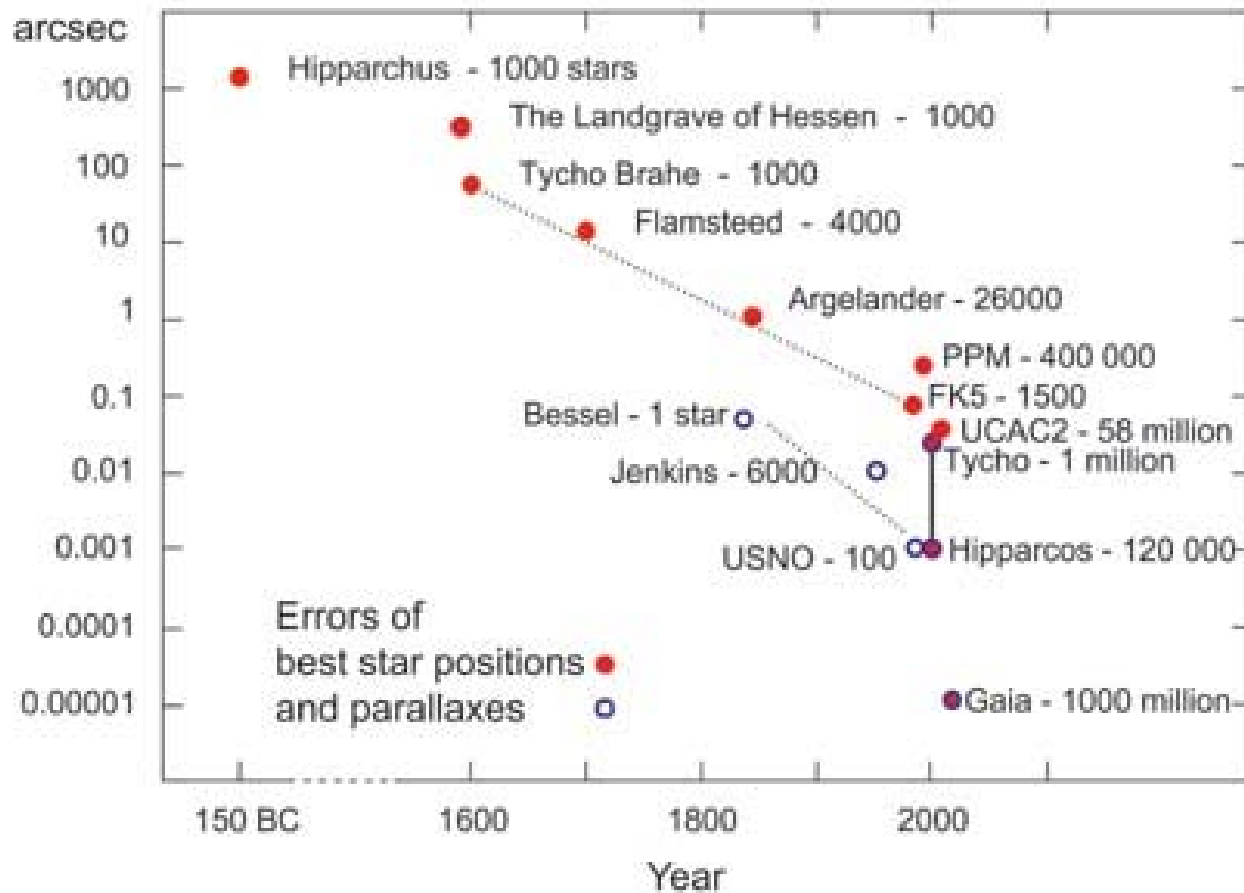
Horizon for distances
accurate to 10 per cent

General relativistic light-bending determined to 1 part in 10^6

1 microarcsec/yr = 300 km/s at $z = 0.03$
(direct connection to inertial)

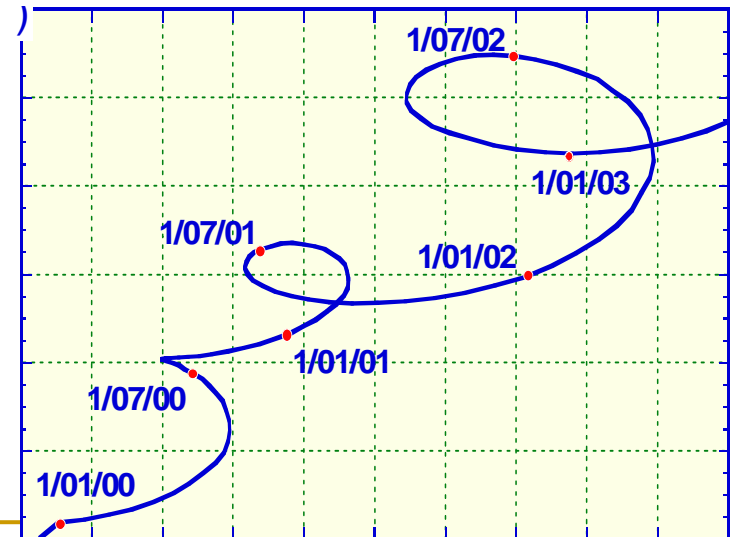


napredek v astrometriji



Exo-Planets: Expected Discoveries

- Astrometric survey:
 - ❑ monitoring of hundreds of thousands of FGK stars to ~ 200 pc
 - ❑ detection limits: $\sim 1M_J$ and $P < 10$ years
 - ❑ complete census of all stellar types, $P = 2\text{--}9$ years
 - ❑ masses, rather than lower limits ($m \sin i$)
 - ❑ multiple systems measurable, giving relative inclinations
- Results expected:
 - ❑ 10–20,000 exo-planets (~ 10 per day)
 - ❑ displacement for 47 UMa = $360 \mu\text{as}$
 - ❑ orbits for ~ 5000 systems
 - ❑ masses down to $10 M_{\text{Earth}}$ to 10 pc
- Photometric transits: $\sim 5000?$

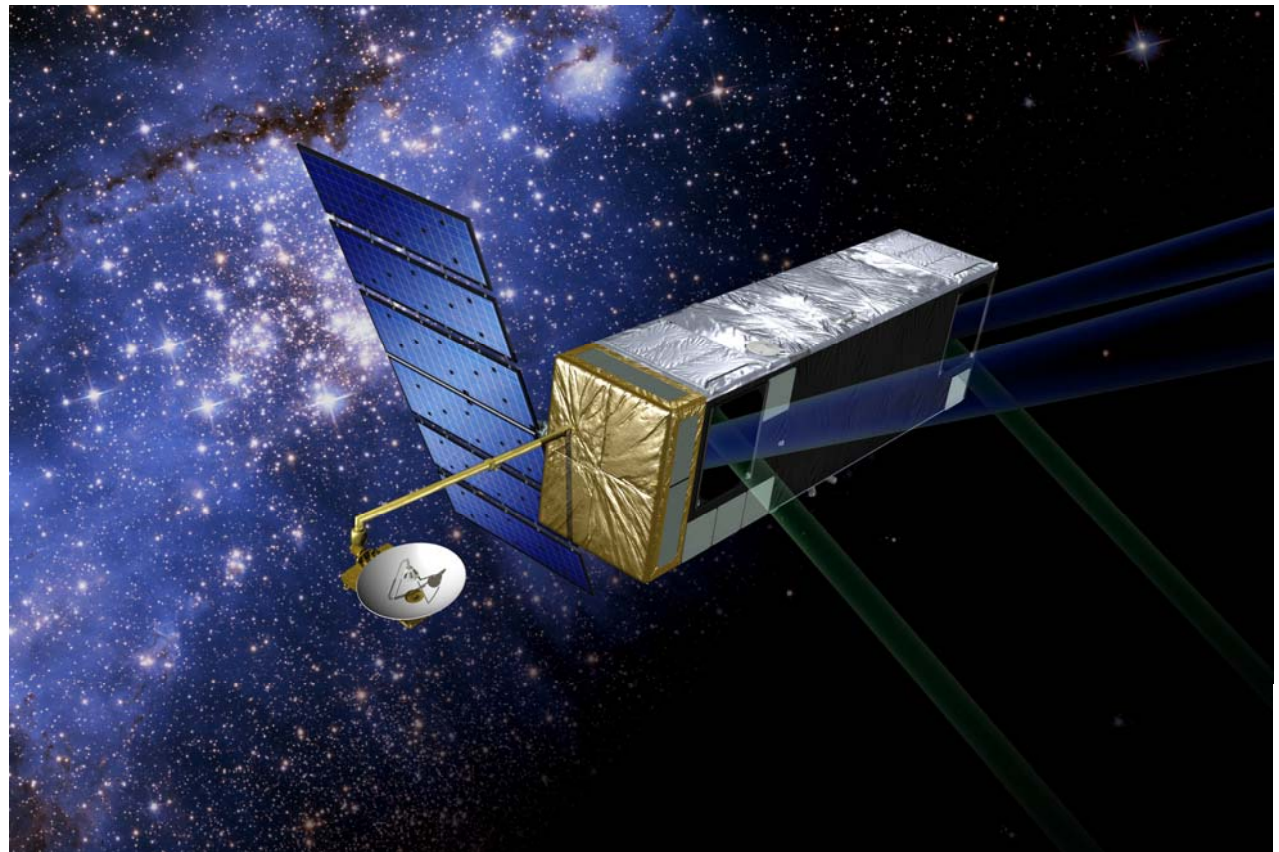


SIM

PLANETQUEST

SIM PlanetQuest

[Astronomers' Site >](#)

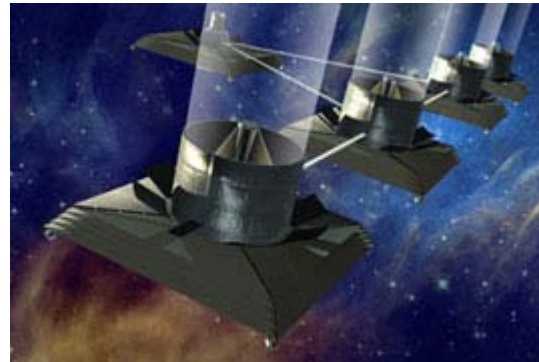
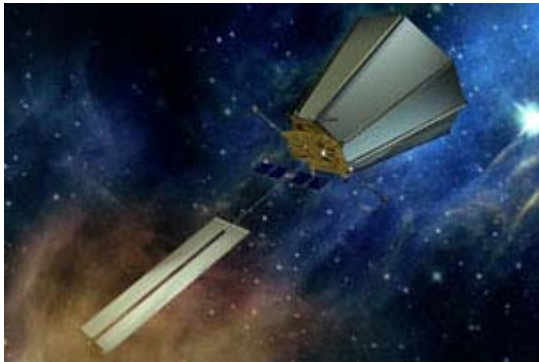


TPF

PLANETQUEST

Terrestrial Planet Finder

- 2 observatorija v vesolju: koronograf in infrared interferometer



JWST



- NASA, 2013
- 6.5-m
- naslednik HST



KONEC
