

Teised päikesed, teised maailmad



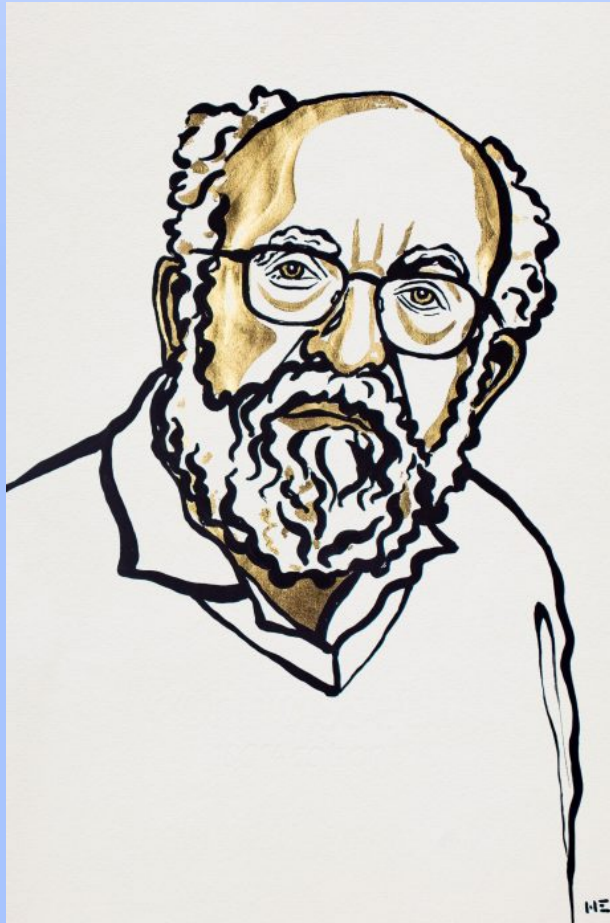
***Laurits Leedjärv
TÜ Tartu observatorium, Tõravere***

Rapla, 22. juuli 2020

Nobeli füüsikapreemia 2019



James Peebles



Michel Mayor



Didier Queloz

Päikest ja tema planeedisüsteemi on inimkond tundnud ja tundma õppinud tuhandeid aastaid



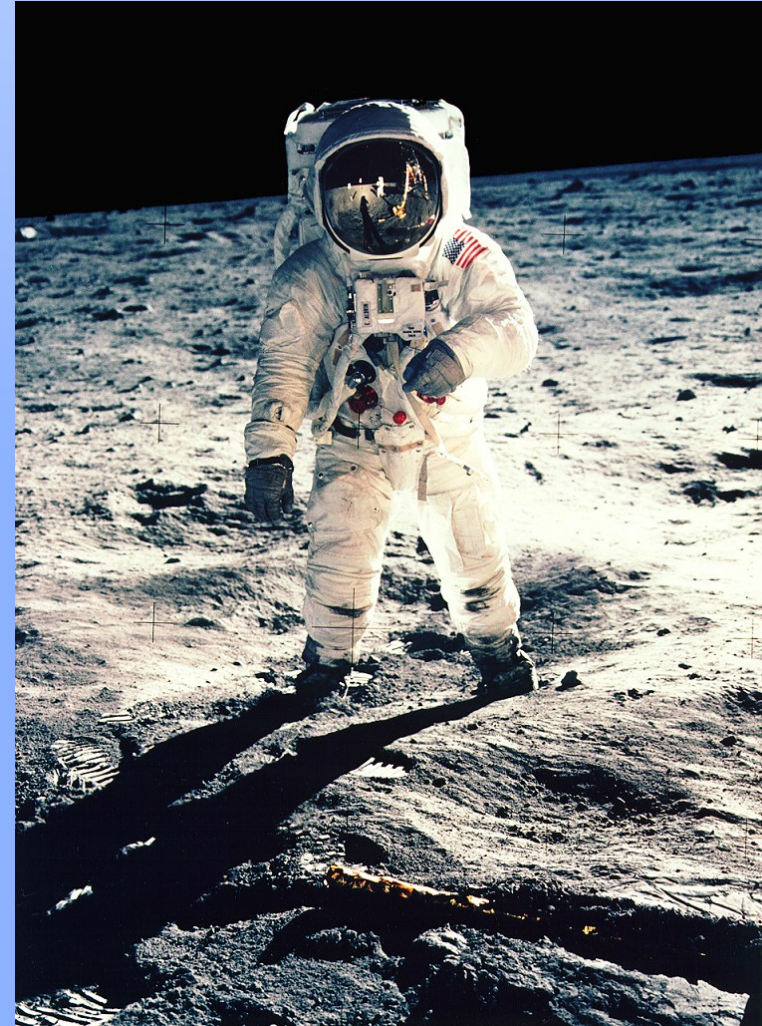
Kosmoseajastu algus üle 60 aasta tagasi andis võimaluse planeete ja nende kaaslasti lähedalt uurida



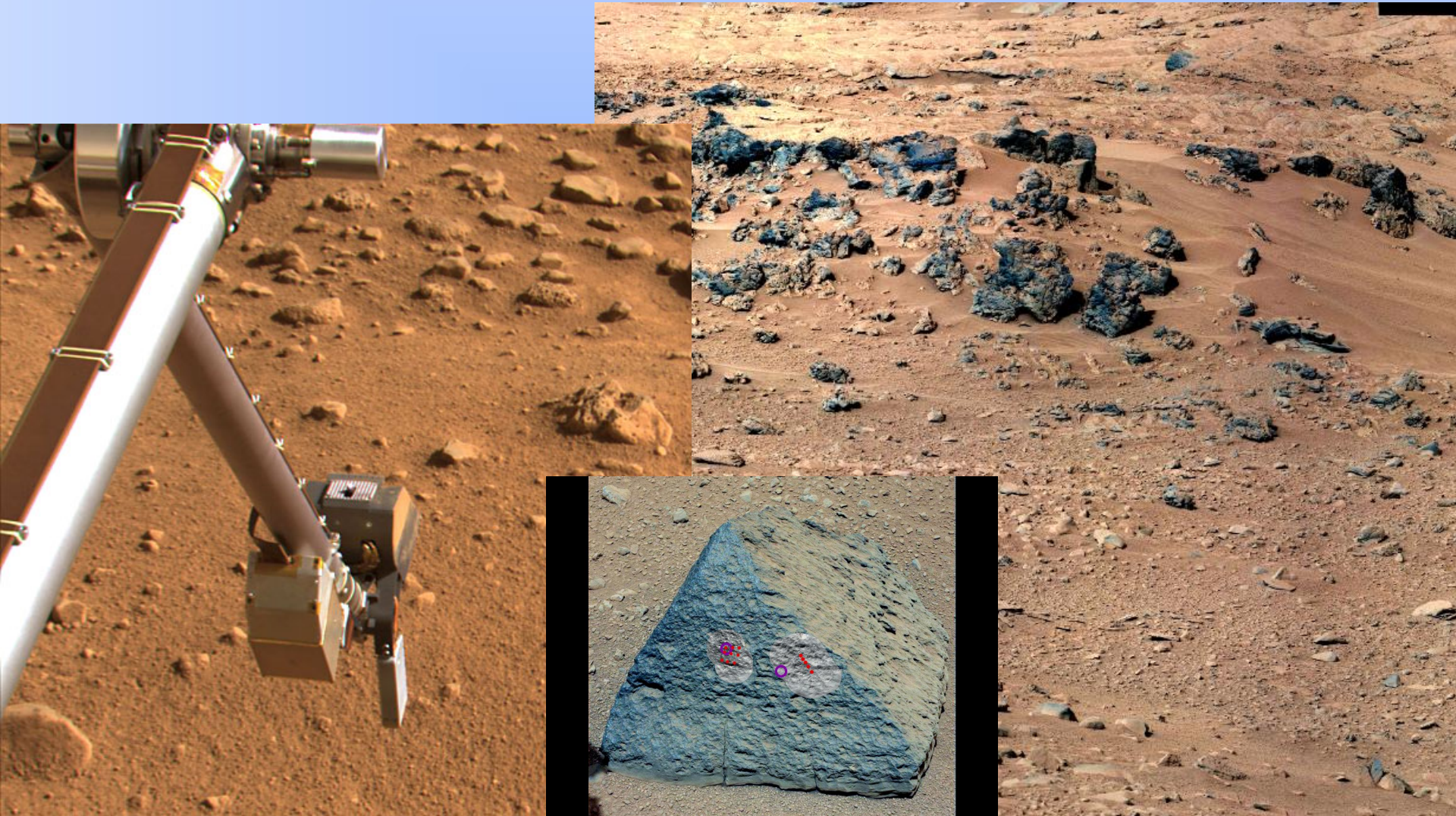
Sputnik 1
start 4. oktoobril 1957



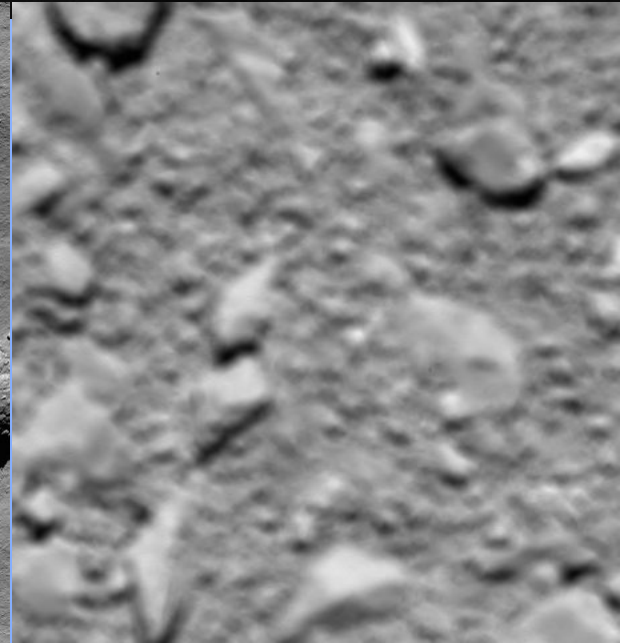
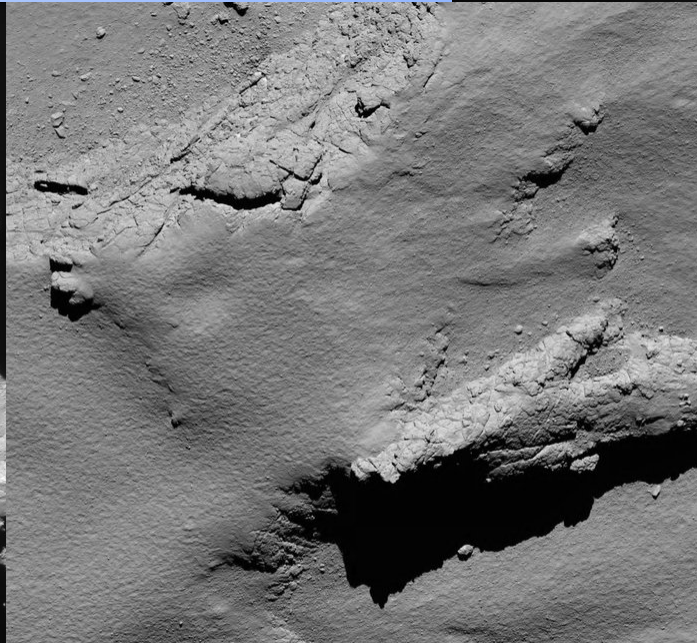
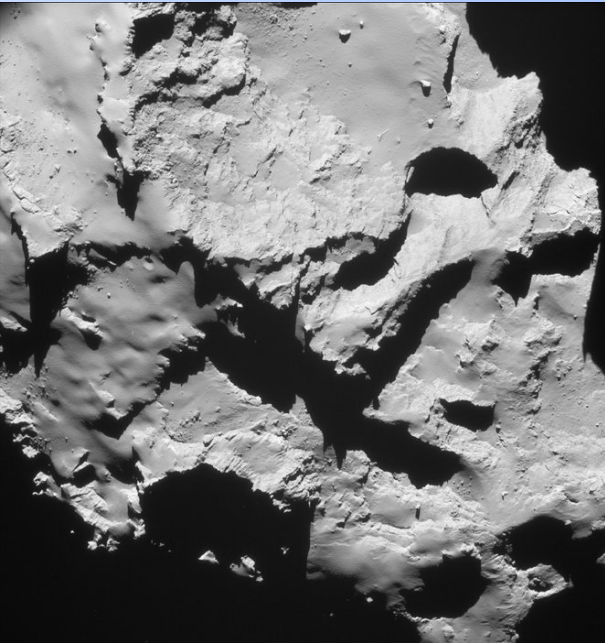
**20. sajandi kosmosevõidu jooksu
kulminatsiooniks sai inimese jõudmine
Kuule 21. juulil 1969**



Sajandivahetus ja 21. sajandi algus on toonud kosmoseaparaatide laskumise Marsile, sondide saatmise Jupiteri tihedasse atmosfääri ning Saturni Kuule Titanile jpm ...



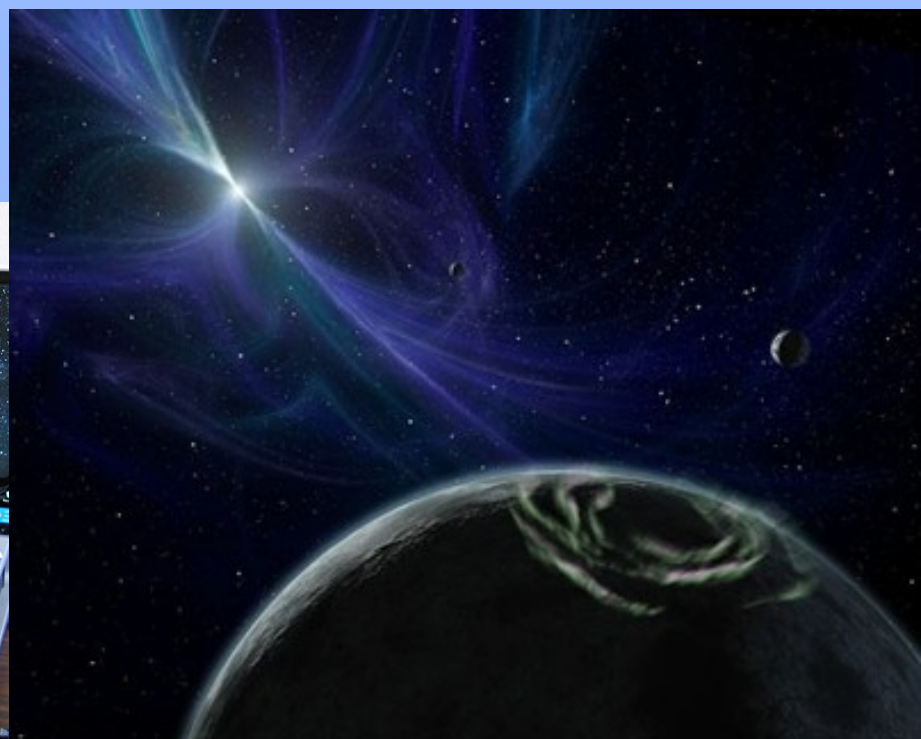
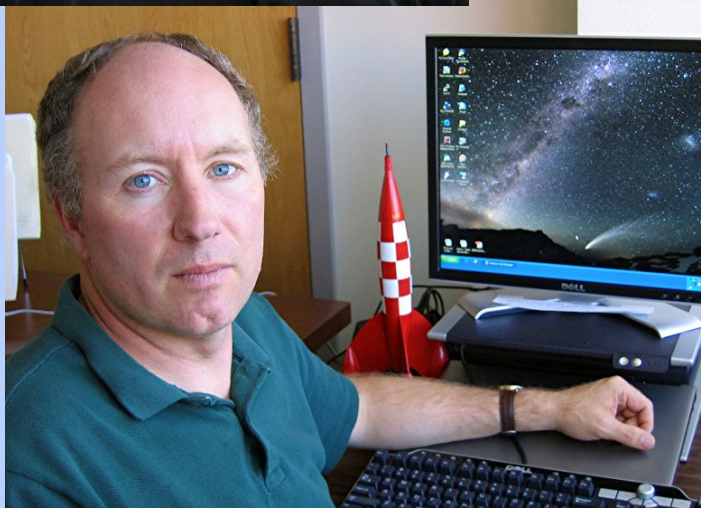
... ning sondi *Philae* “pehme” maandumise
komeedi tuumale



Kindla(ma)d teadmised planeetidest teiste tähtede juures ehk eksoplaneetidest hakkasid tulema veidi rohkem kui 25 aastat tagasi



Aastal 1992 teatasid Alexander Wolszczan & Dale Frail kahest planeedist pulsari PSR B1257+12 juures



„Päris” eksoplaneetide ajastu algas 1995

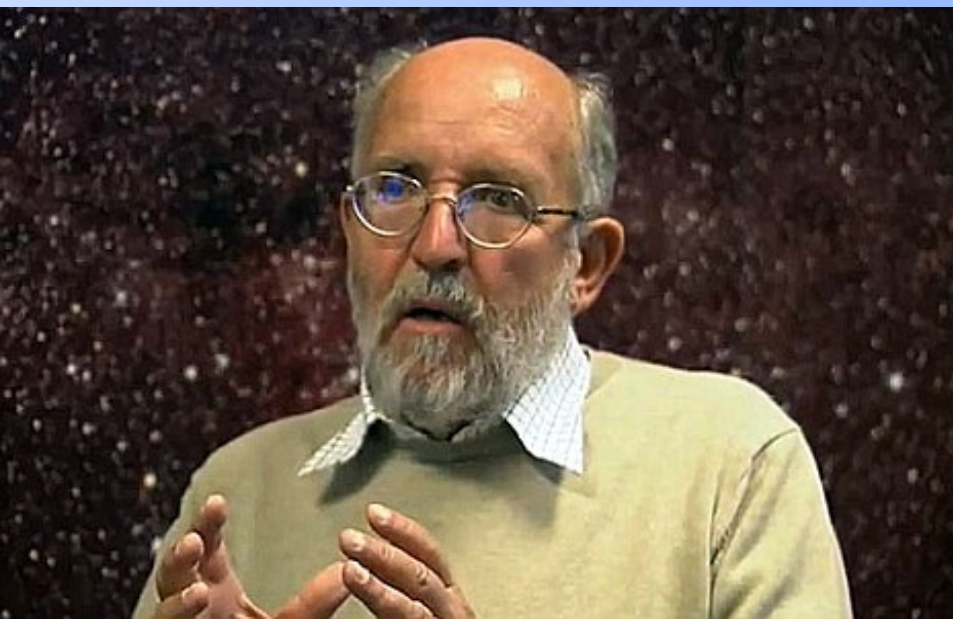
Nature, vol. 378, 355 - 359 (23 November 1995)

A Jupiter-mass companion to a solar-type star

Michel Mayor & Didier Queloz

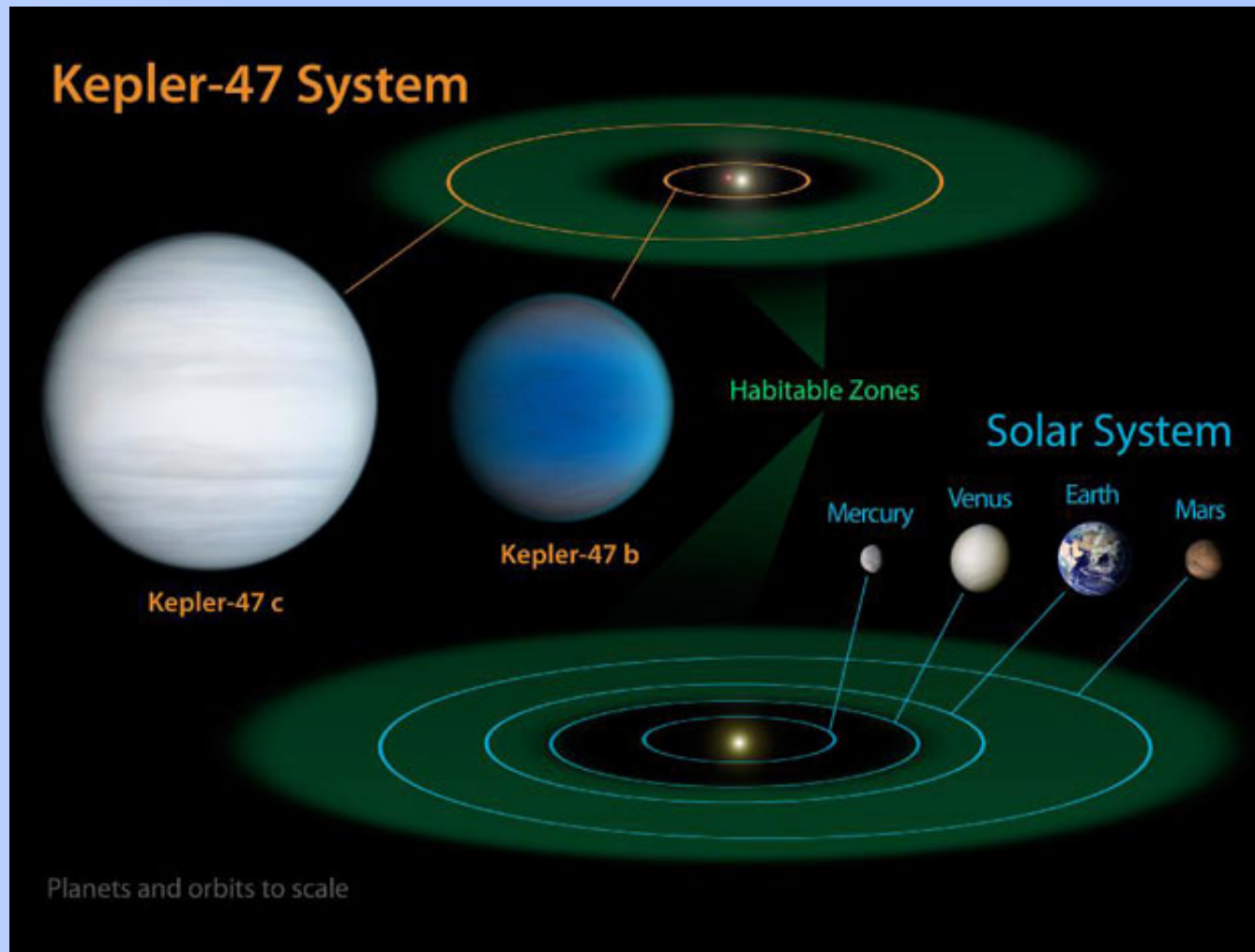
Geneva Observatory, 51 Chemin des Maillettes, CH-1290 Sauverny, Switzerland

The presence of a Jupiter-mass companion to the star 51 Pegasi is inferred from observations of periodic variations in the star's radial velocity. The companion lies only about eight million kilometres from the star, which would be well inside the orbit of Mercury in our Solar System. This object might be a gas-giant planet that has migrated to this location through orbital evolution, or from the radiative stripping of a brown dwarf.



Praeguseks (20.07.2020) teada 4295 eksoplaneeti, mis asuvad 3175 planeedisüsteemis (täht + vähemalt üks planeet) - nende hulgas on 701 mitmikplaneedisüsteemi (vähemalt 2 planeeti ühe tähe ümber)

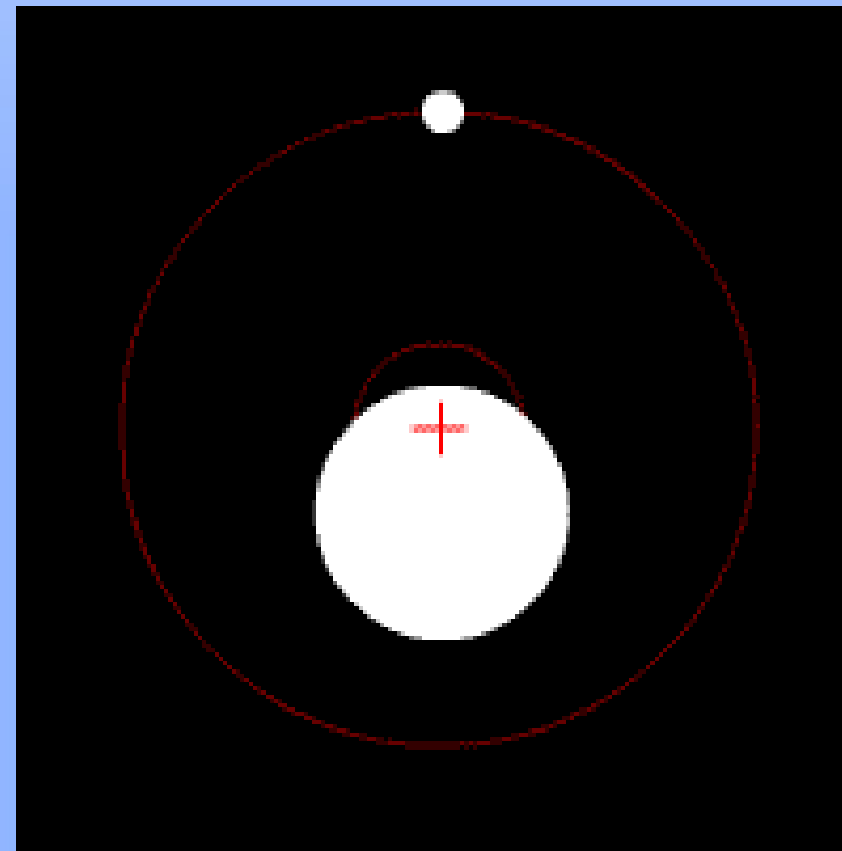
<http://exoplanet.eu>



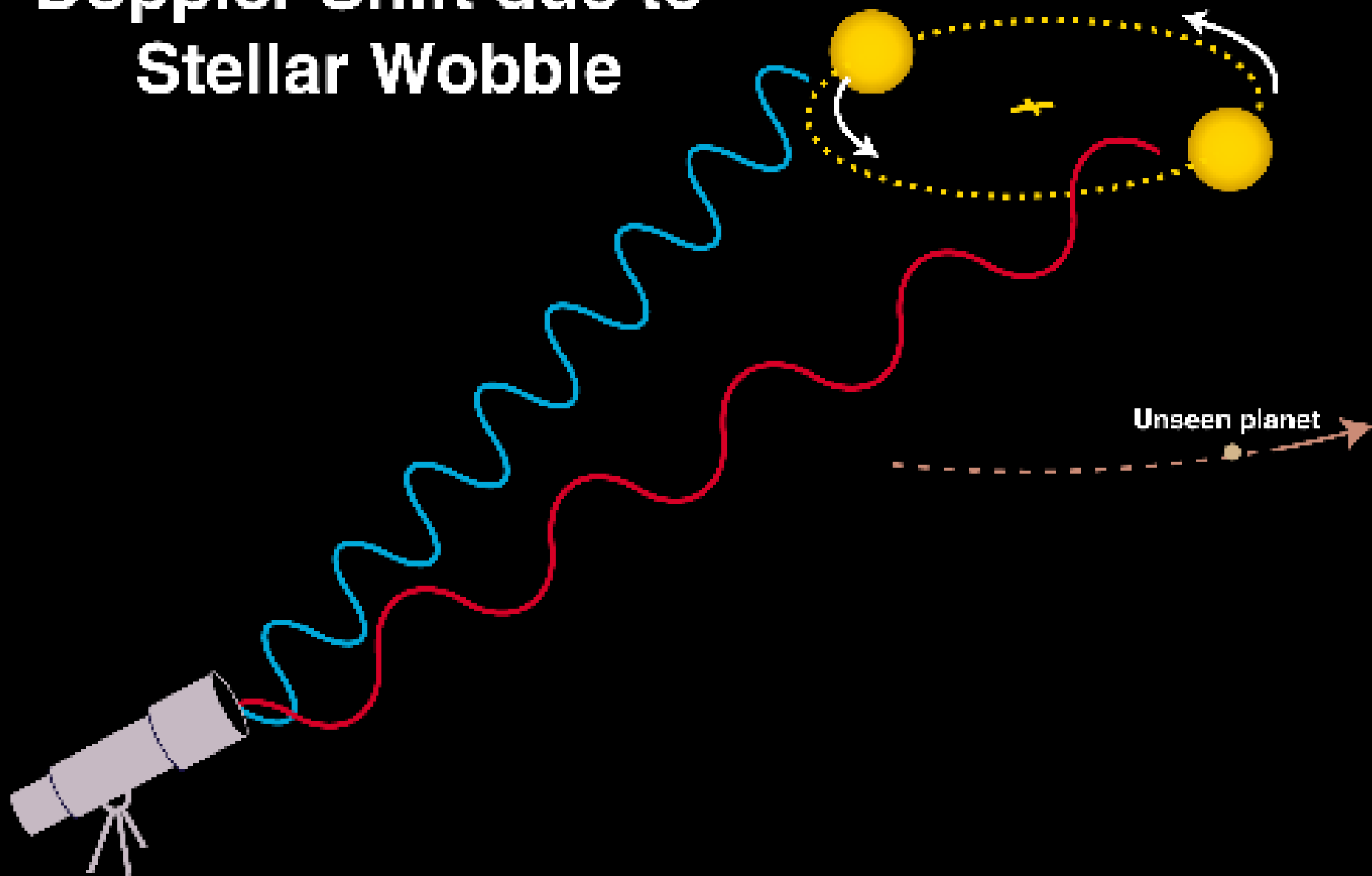
Eksoplaneetide avastamise meetodid:

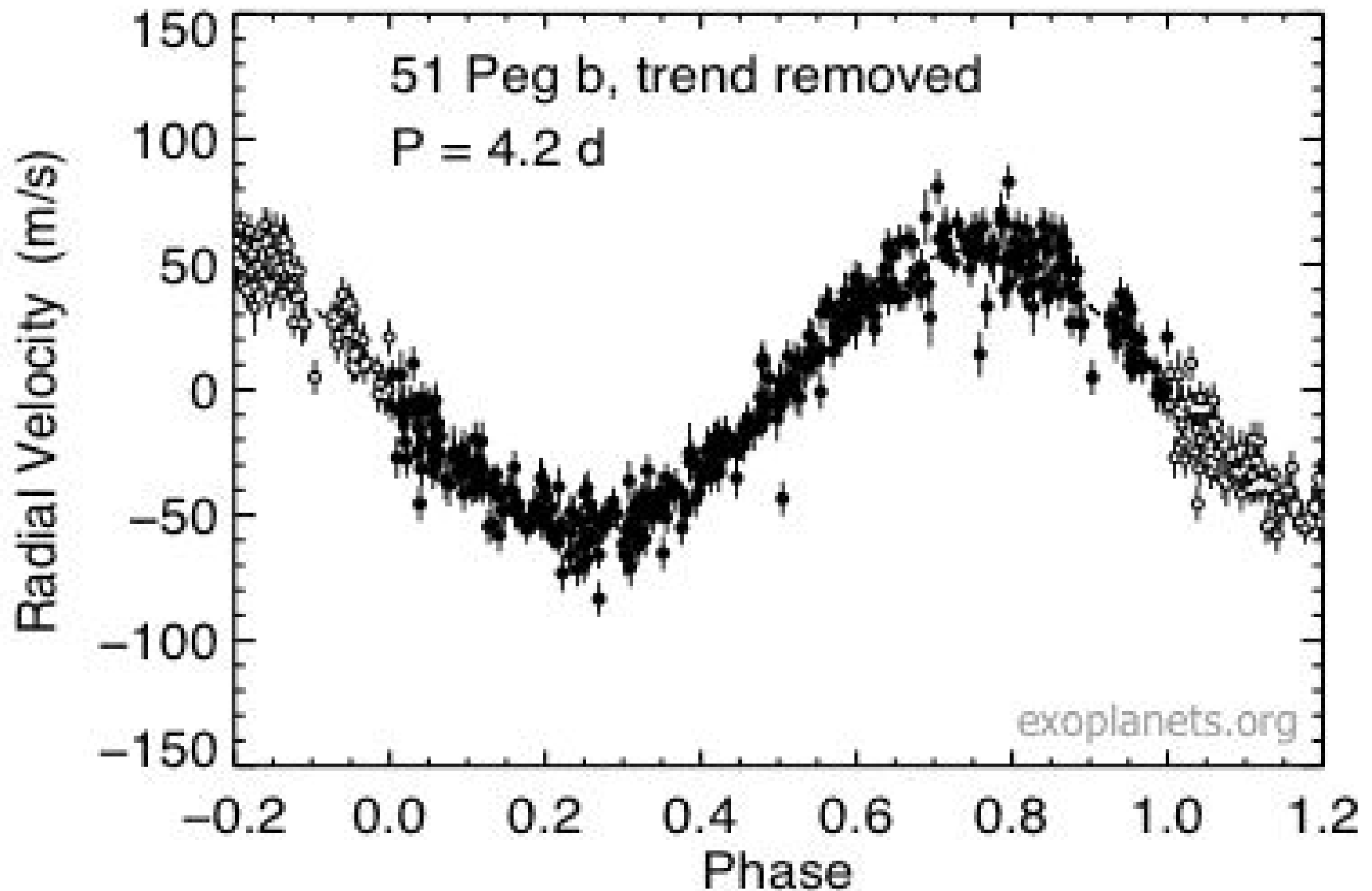
(1) Dünaamiline ehk spektroskoopiline - tähe radiaalkiiruse perioodilised muutused

- saavutatud täpsus ≤ 1 m/s
- saab avastada ka mitmeid planeete ühe tähe ümber



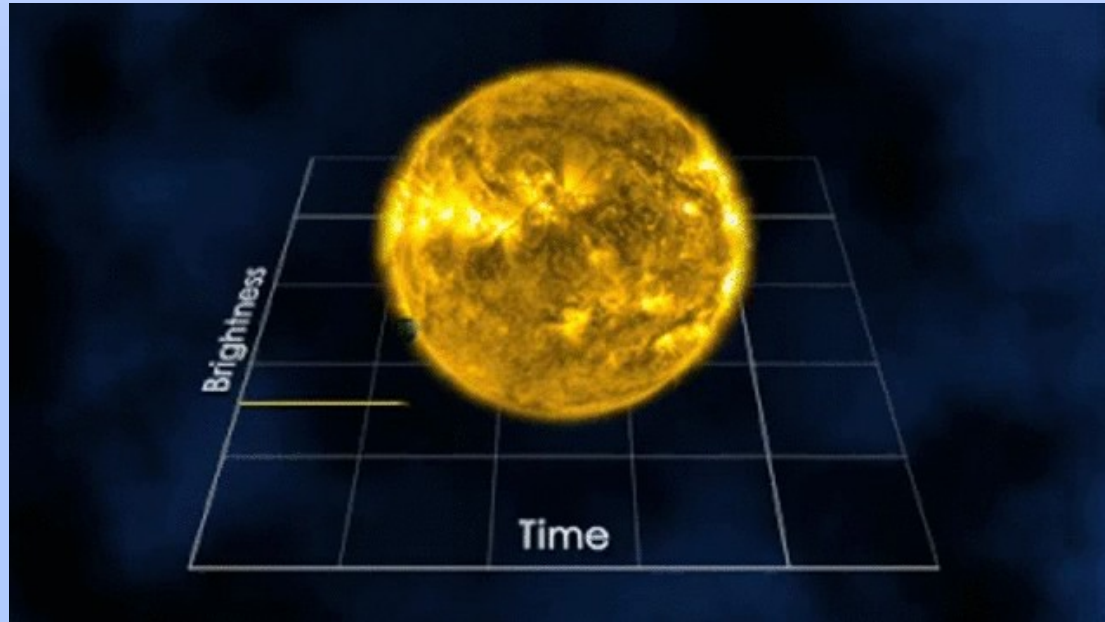
Doppler Shift due to Stellar Wobble





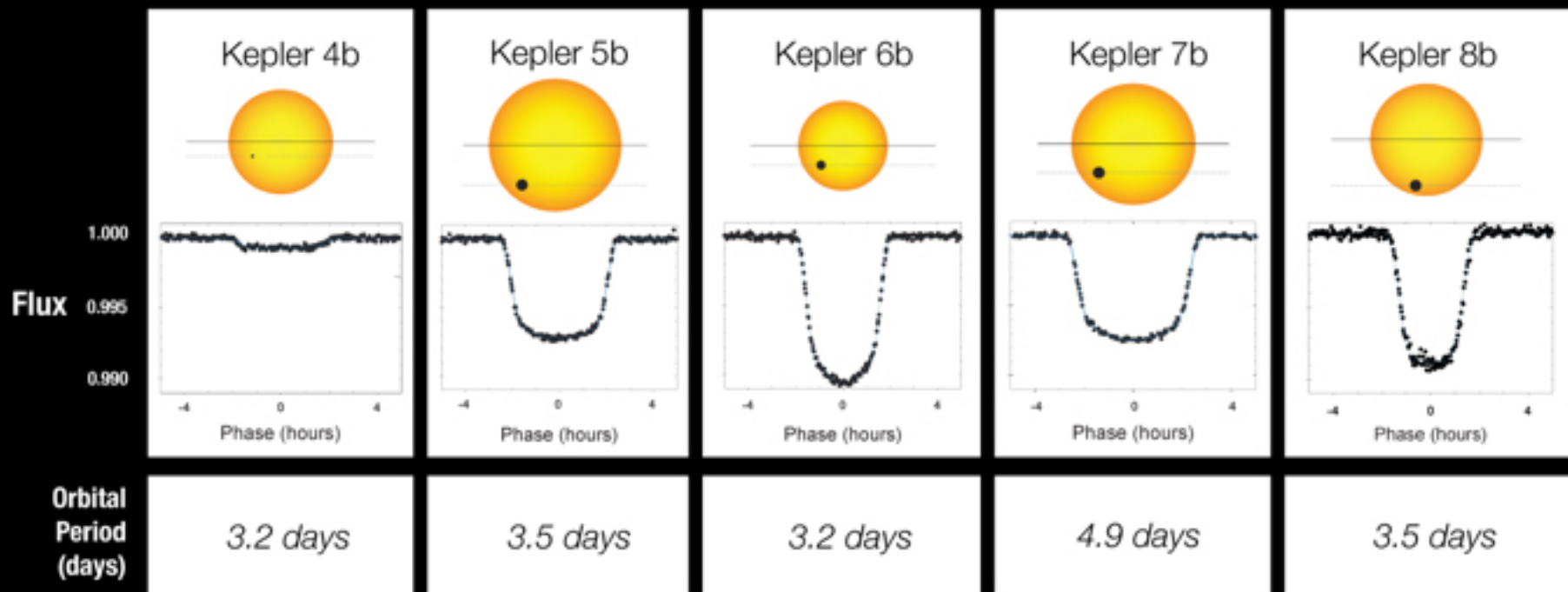
Tähe 51 Peg radiaalkiiruse muutumine ajas, mis näitab, et tähe ümber tiirleb planeet perioodiga 4,2 päeva

(2) Fotomeetriline - perioodilised tähevarjutused



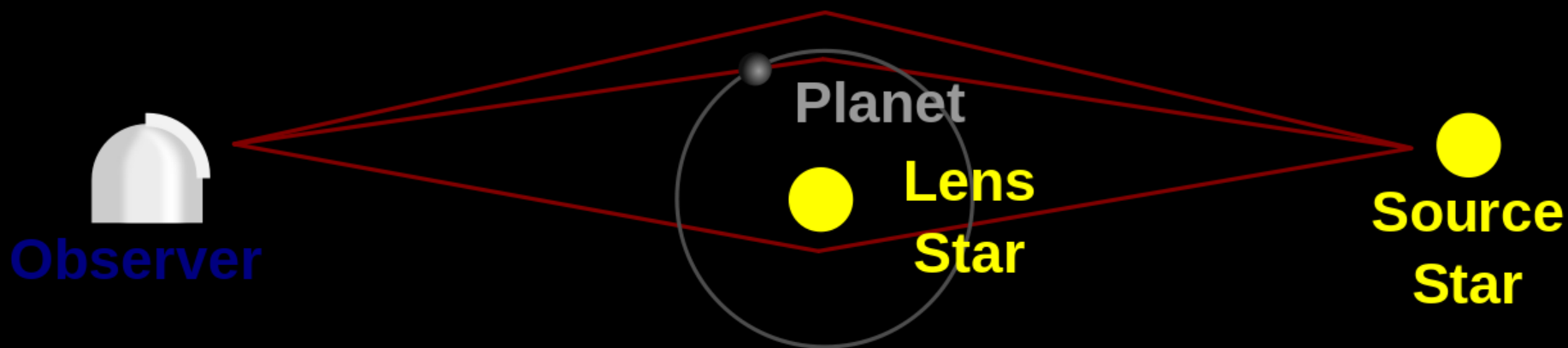
- **tähe heledus muutub enamasti vähem kui 1%**
- **saab avastada ka mitmeid planeete ühe tähe ümber**
- **parimad tulemused saadakse kosmosest**

Transit Light Curves



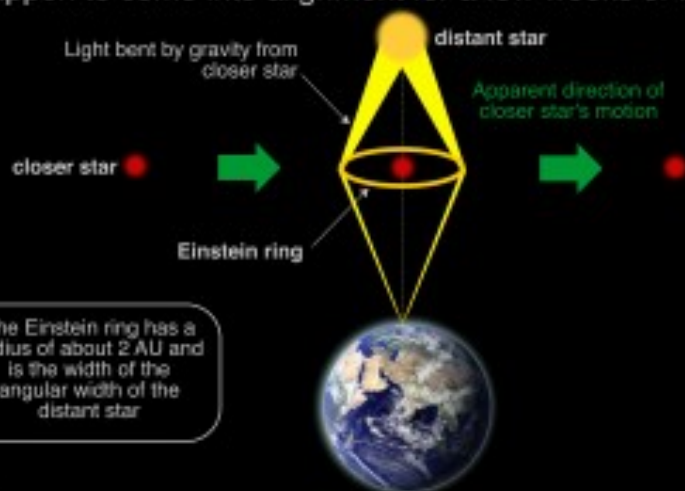
(3) Gravitatsioonilised mikroläätsed

Gravitation Microlensing



Gravitational Microlensing

The Earth, a close star, and a brighter, more distant star, happen to come into alignment for a few weeks or months



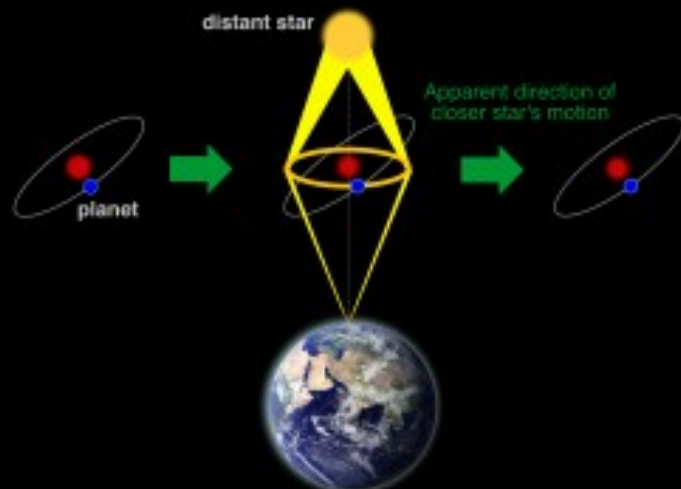
Gravity from the closer star acts as a lens and magnifies the distant star over the course of the transit.



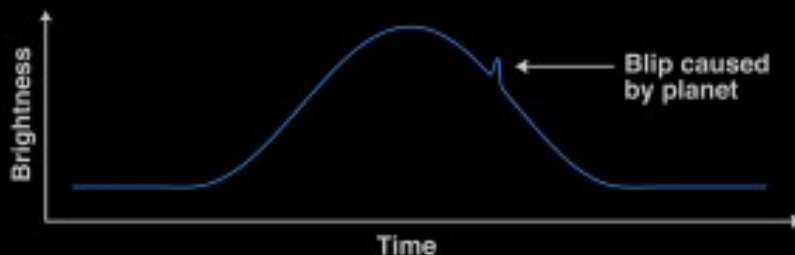
The change in brightness can be plotted on a graph



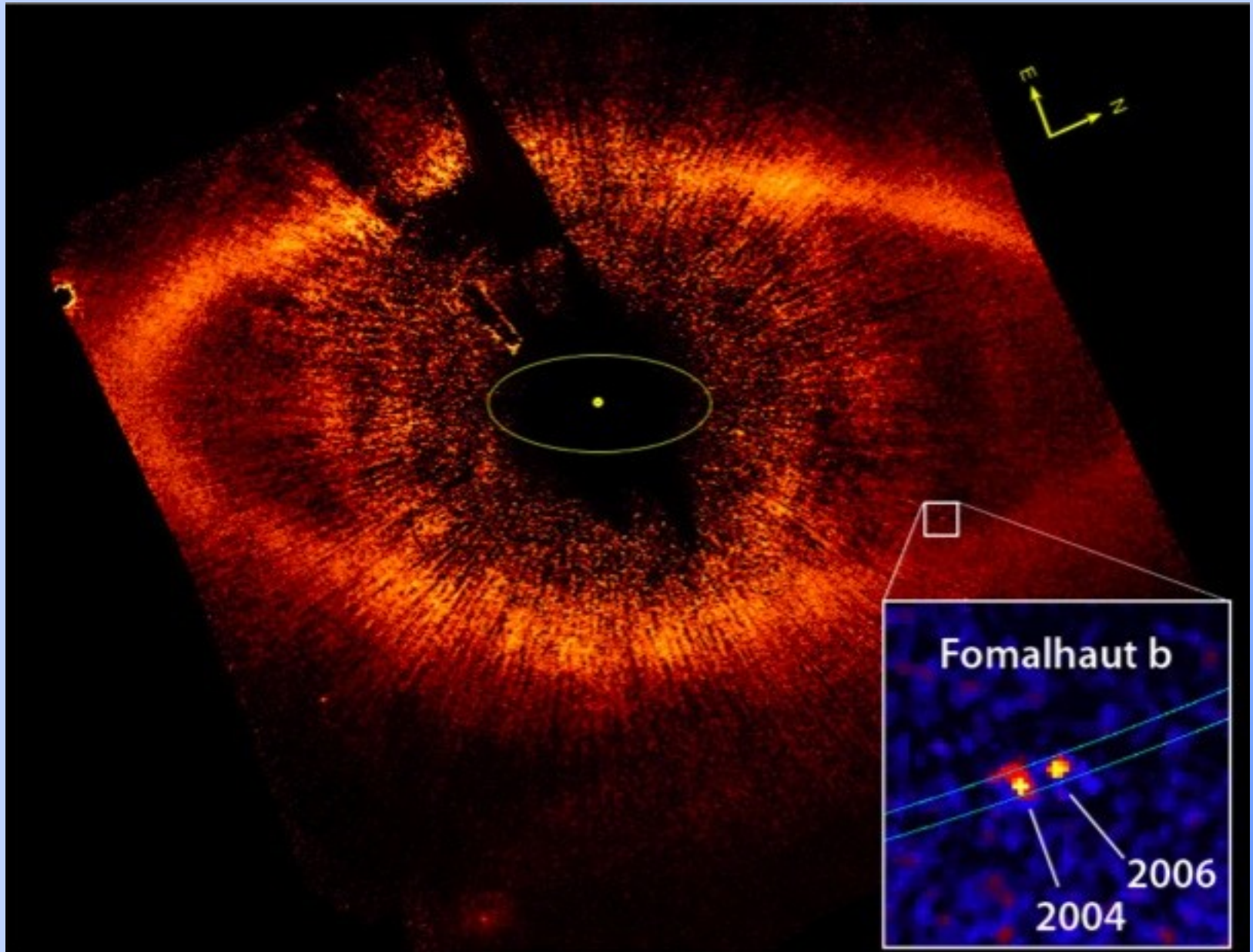
If there is a planet orbiting the closer star, and it happens to align with the Einstein ring, its mass will enhance the lens effect and increase the magnification for a short time



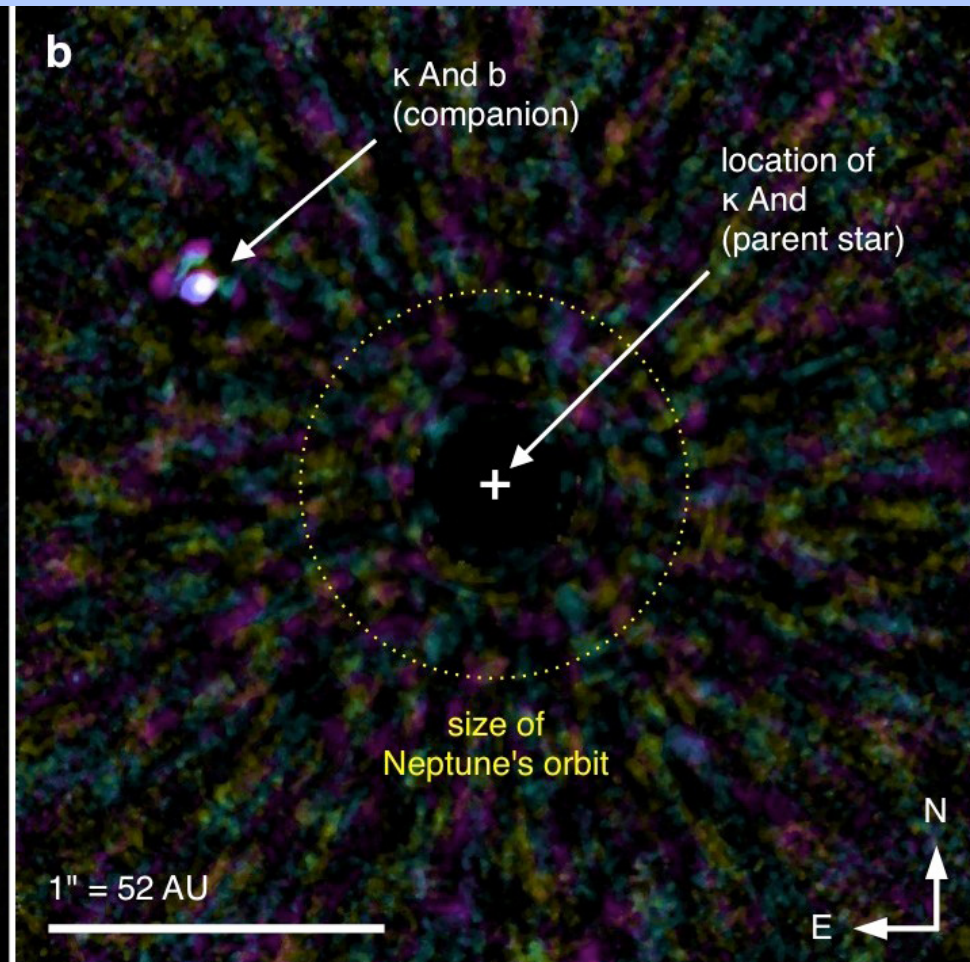
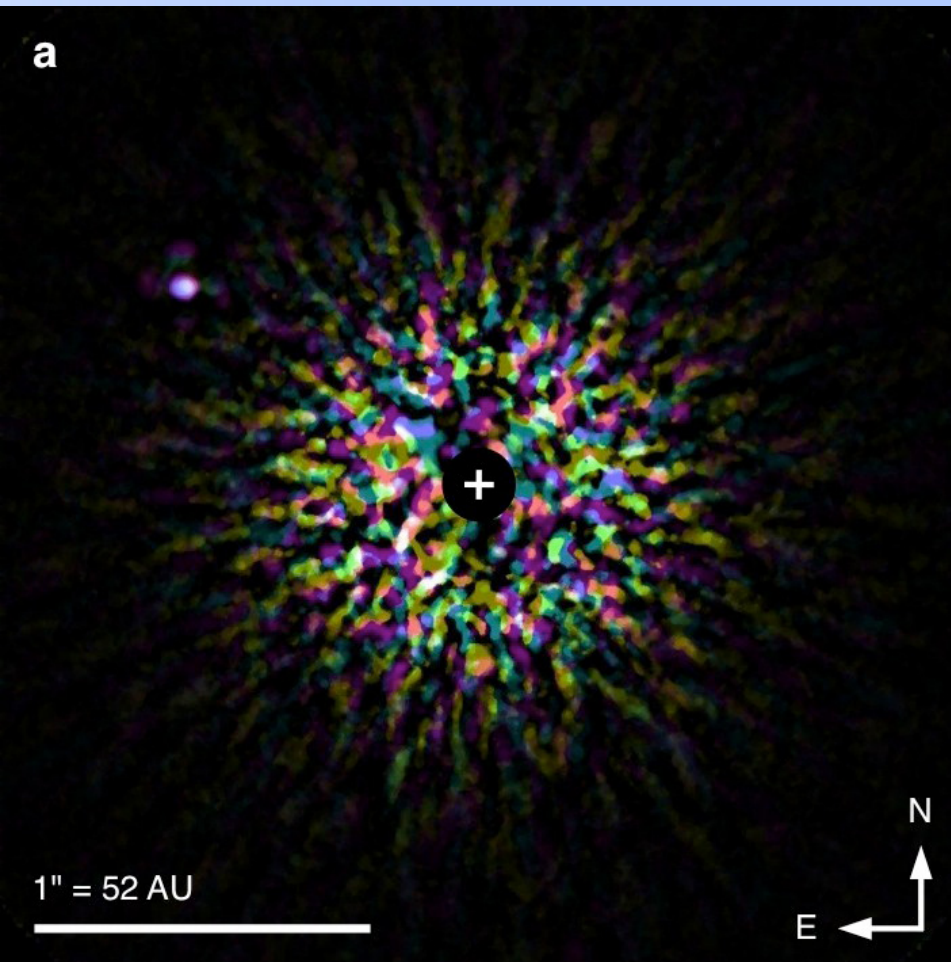
The planet causes a small blip on the graph



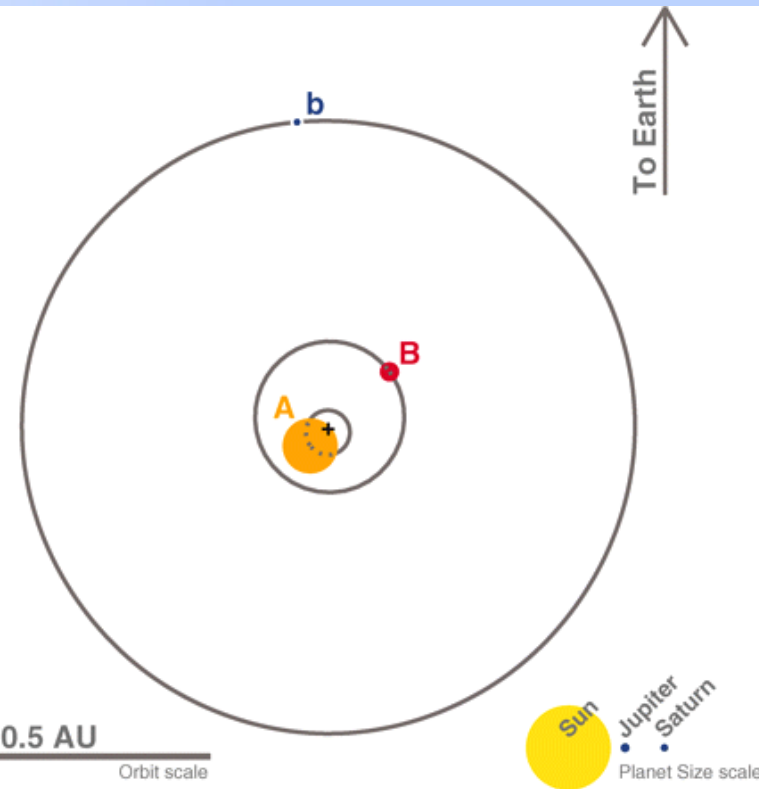
(4) Otsekujutised



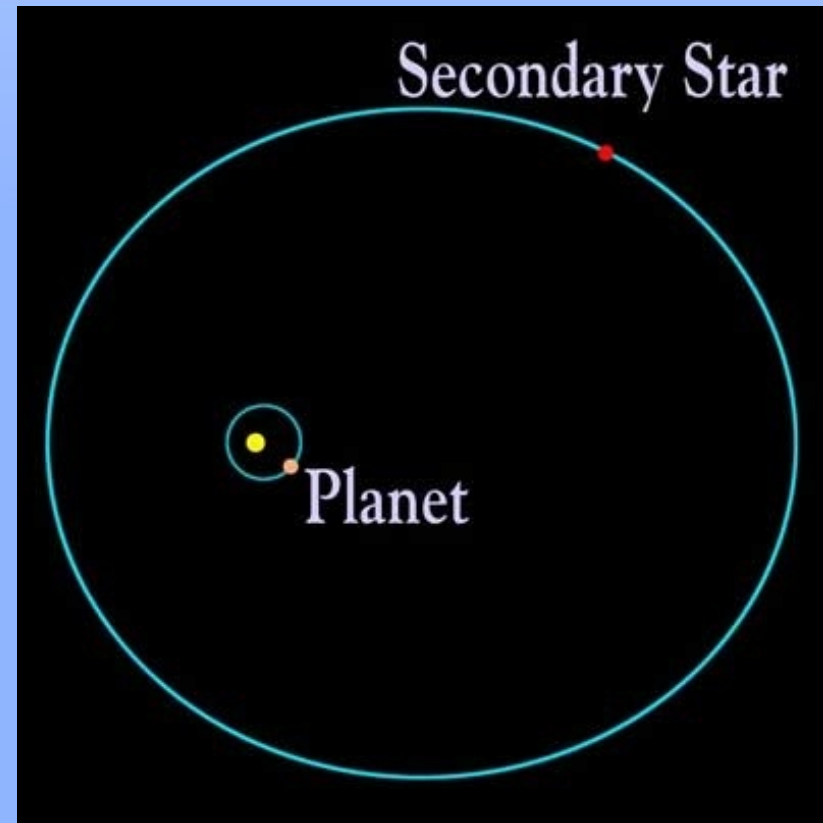
kappa Andromedae - 8-m Subaru teleskoop



Planeete leitakse ka kaksiktähtede juures:



circumbinary



circumprimary

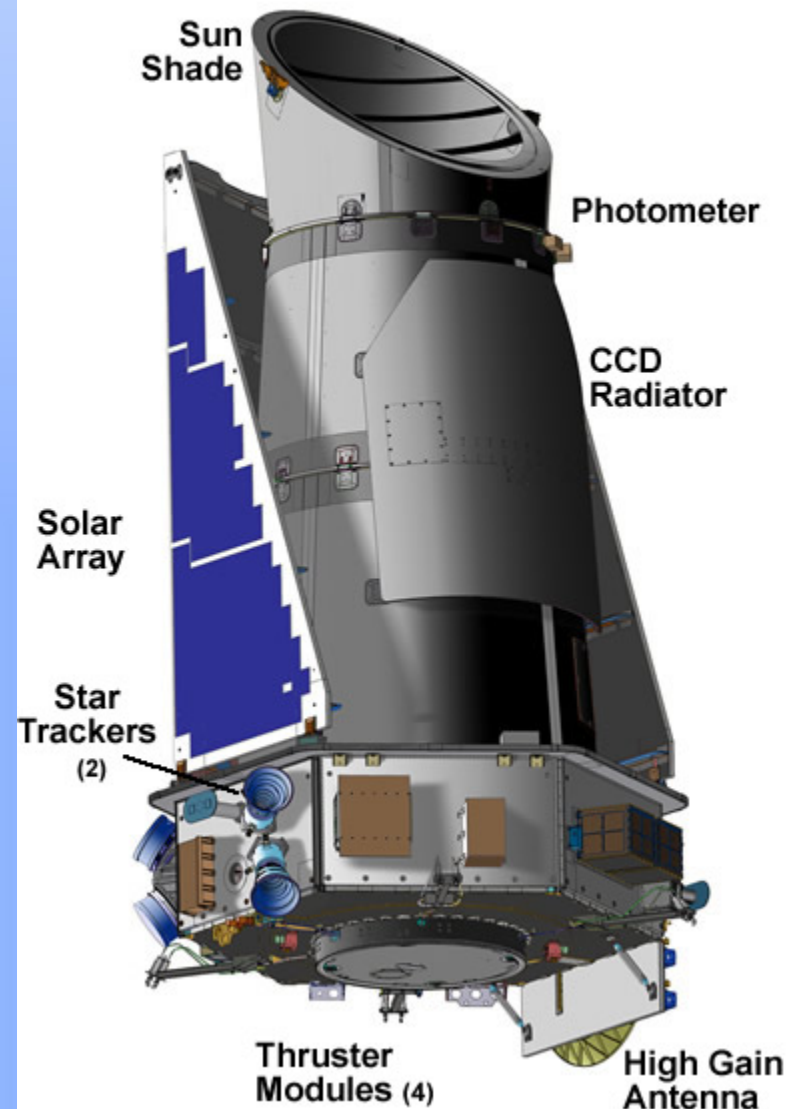


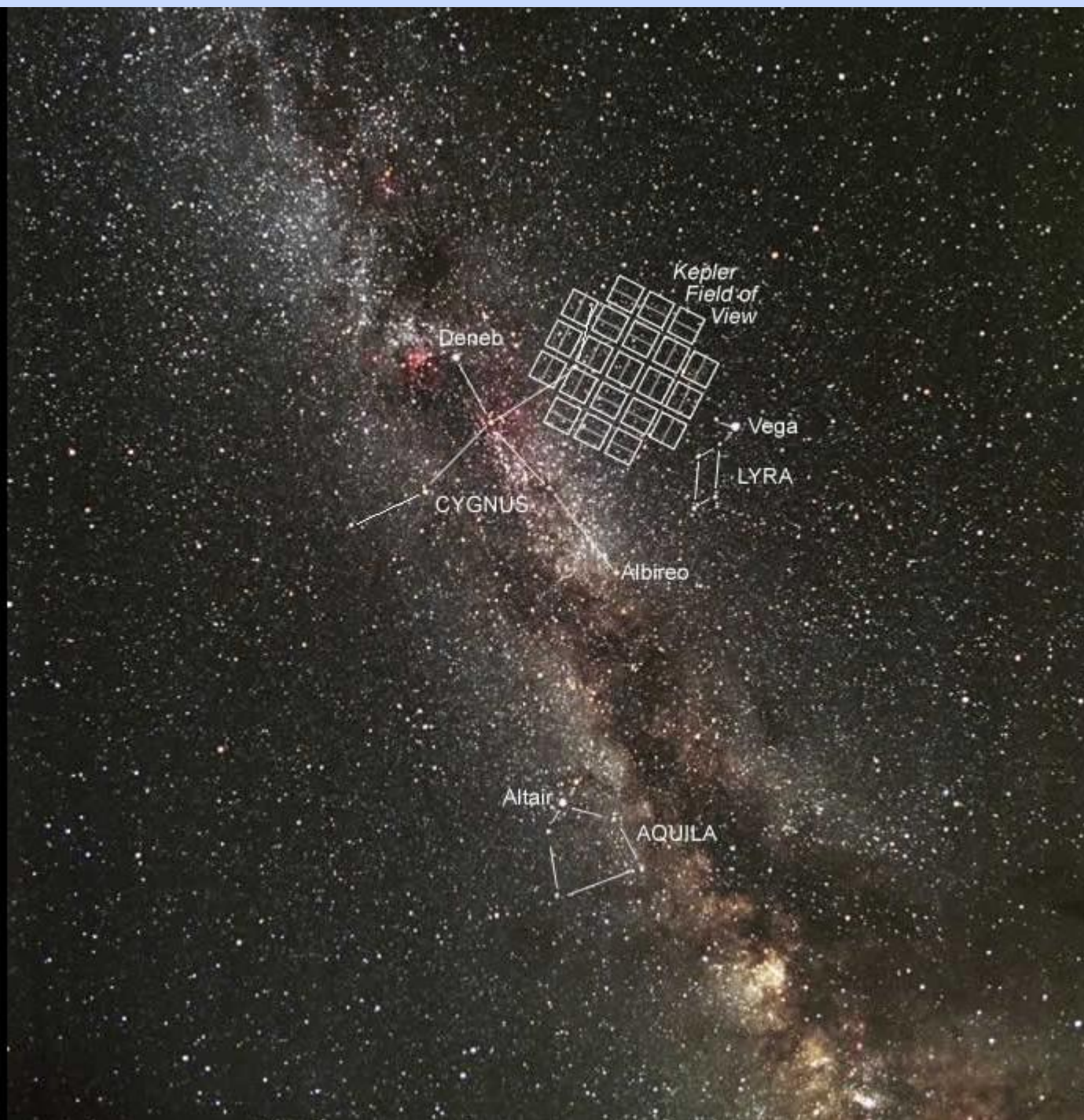
<http://kepler.nasa.gov>

NASA satelliit Kepler 2009-2014

- seni kinnitatud ca 2700 planeedi avastamine
- üle 3300 kandidaadi ootab järke
- jätkumissioon K2 tähtede heleduse muutlikkuse uurimiseks 2014-2018

Kasutab Bernhard Schmidti
(1879-1935) optilist süsteemi





**Bernhard Voldemar Schmidt (1879
Naissaar –
1935 Hamburg-Bergedorf)**

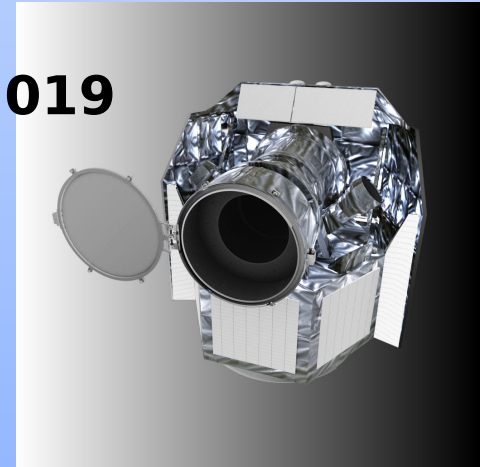


Eksoplaneetide otsingud jätkuvad:



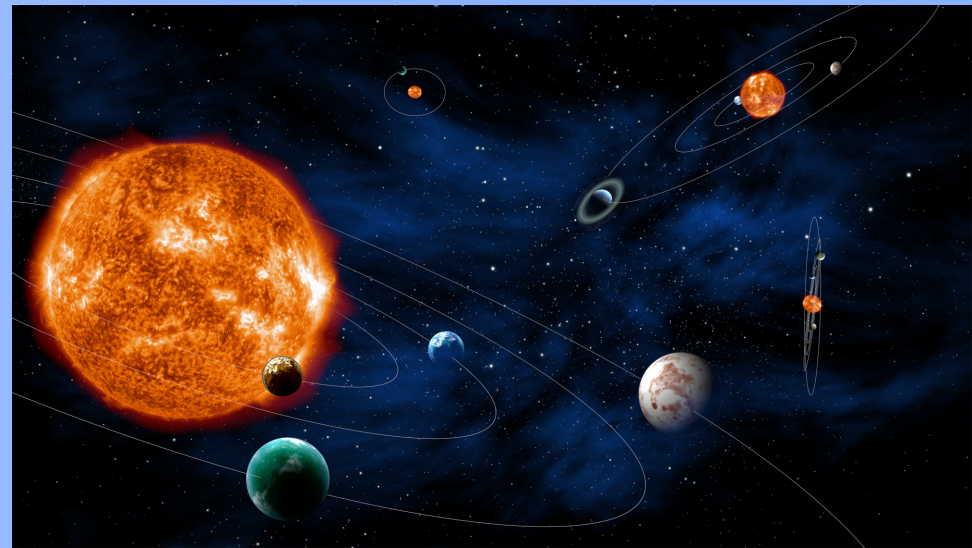
CHEOPS (CHaracterising ExOPlanet Satellite)

ESA väike (S) satelliit, startis 18. detsembril 2019



PLATO (PLAnetary Transits and Oscillations of stars)

**ESA keskmine (M) satelliit,
start planeeritud 2026**



TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite)

Startis 18. aprillil 2018,
seni leidnud 55 kinnitatud
planeeti, üle 2000
kandidaadi



WFIRST (Wide-Field InfraRed Survey Telescope)

Start 2020. aastate keskpaiku



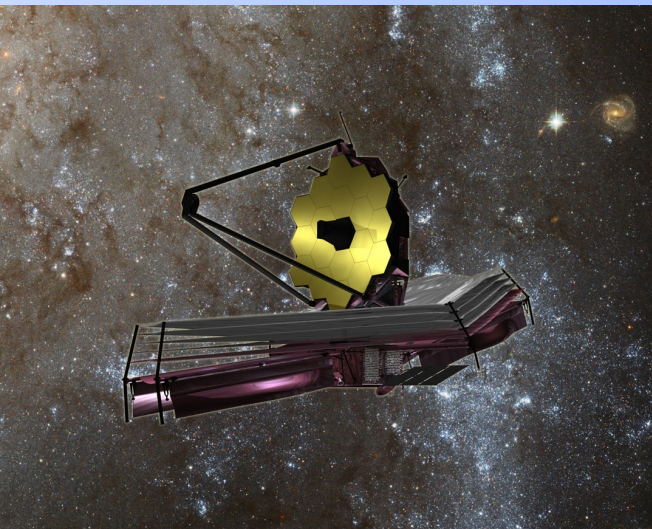
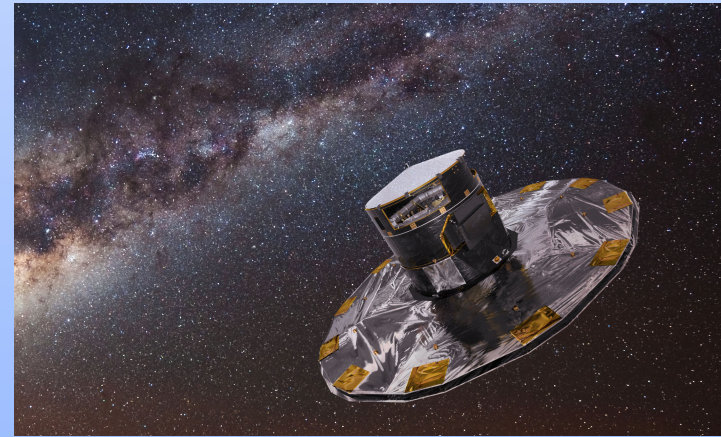
LBTI (Large Binocular Telescope Interferometer)

Töötab, Mt. Graham, Arizona



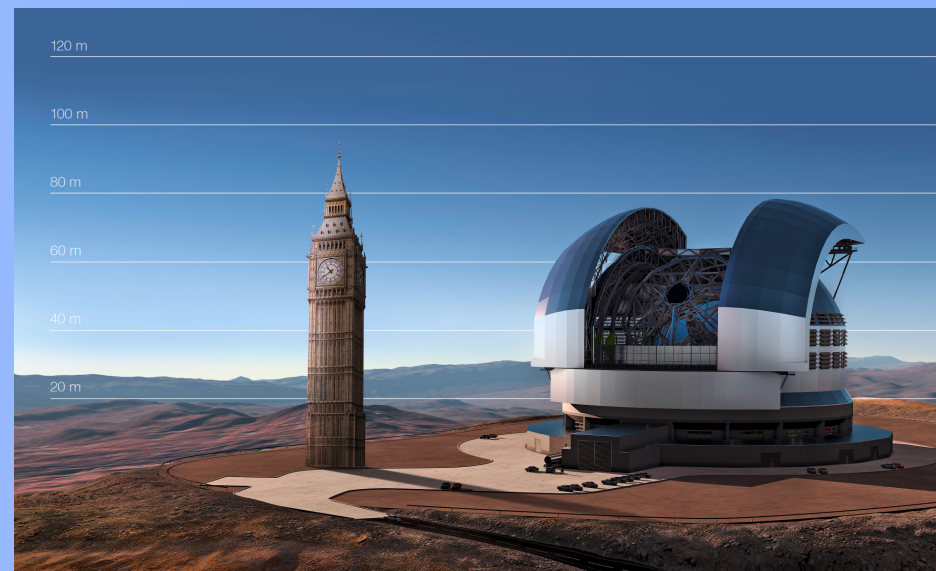
Eksoplaneetide otsingutes löövad kaasa ka:

Gaia - ESA satelliit, orbiidil
detsembrist 2013

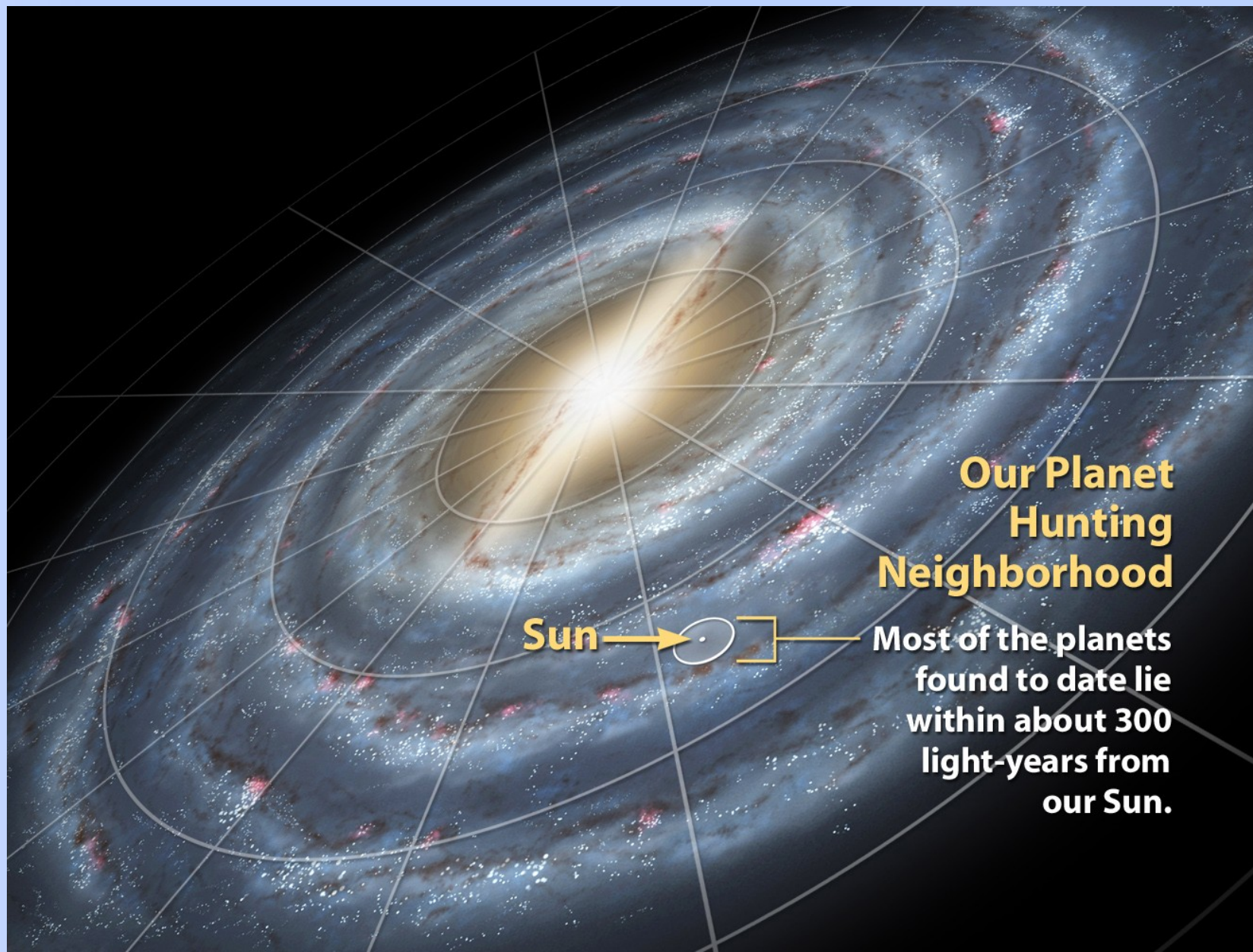


JWST (James Webb Space Telescope)
- järgmise põlvkonna
kosmoseteleskoop, start 2021

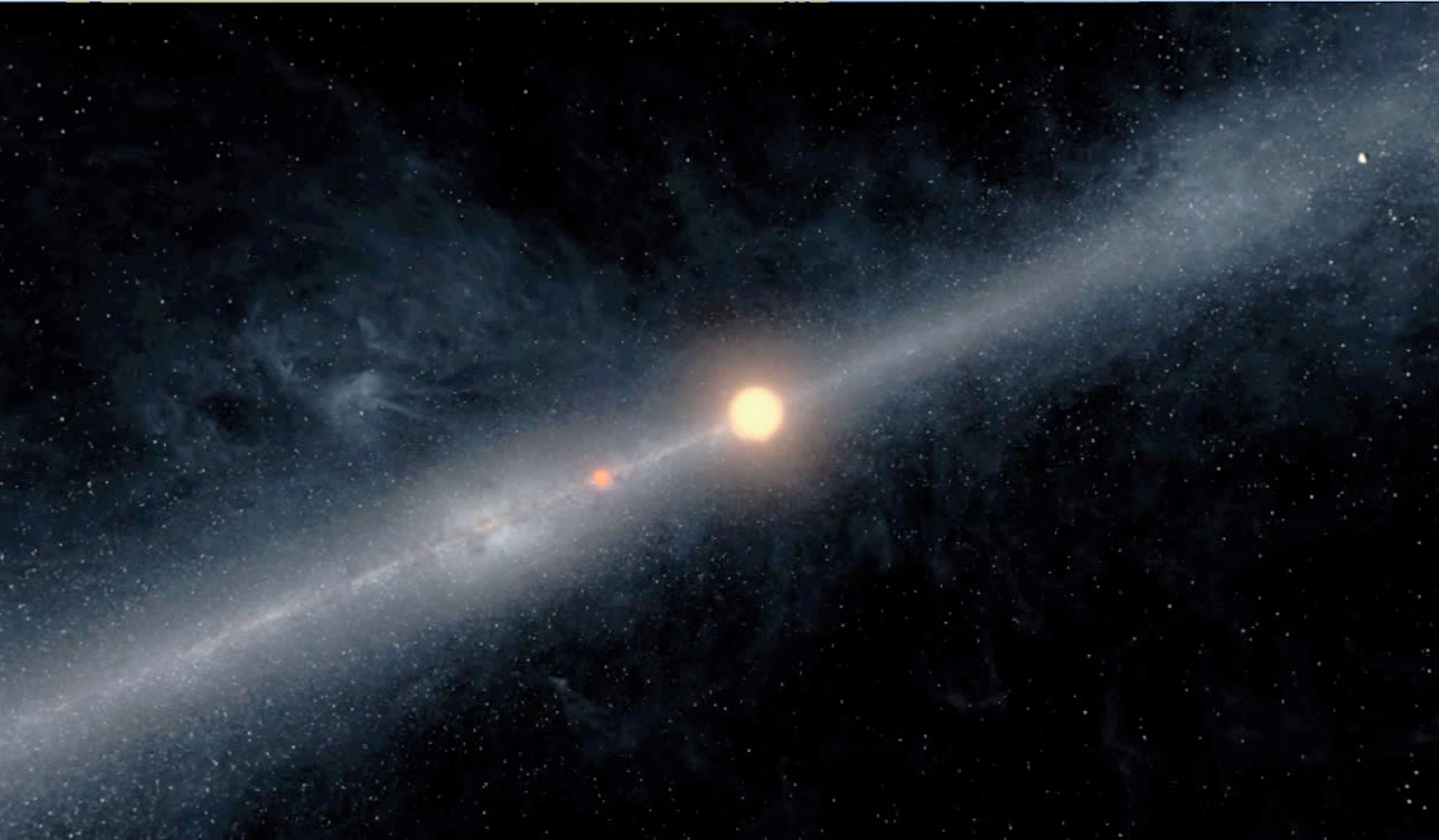
E-ELT (European Extremely Large Telescope) - ääretult suur teleskoop, läbimõõt 39 m, valmib 2025 paiku



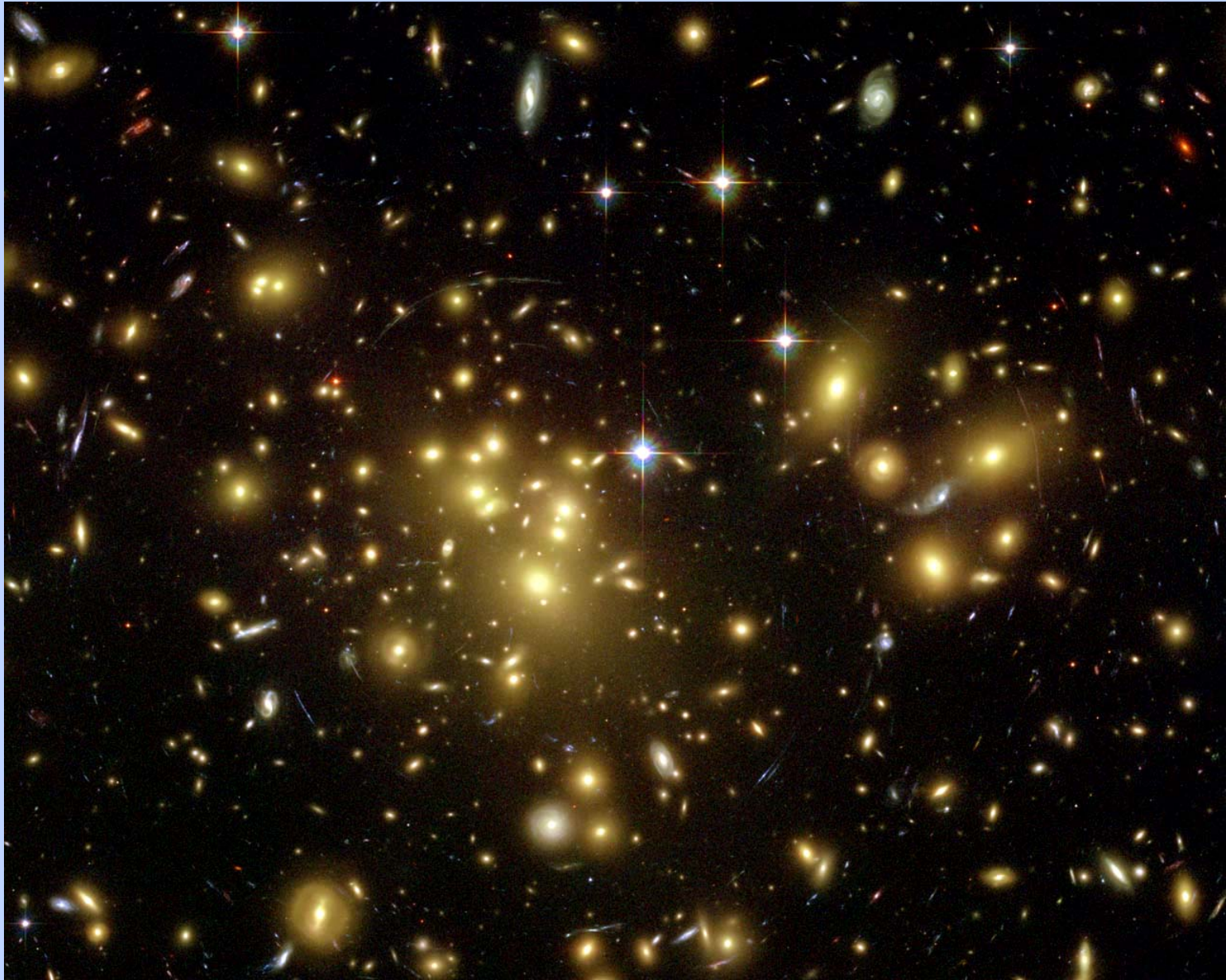
Enamik praeguseks teadaolevaid eksoplaneete on leitud vaid kuni 300 valgusaasta kauguselt Päikesest



**Meie Galaktikas ehk Linnutees on iga tähe kohta
keskmiselt vähemalt üks planeet.
Tähti on aga vähemalt 200 miljardit ...**



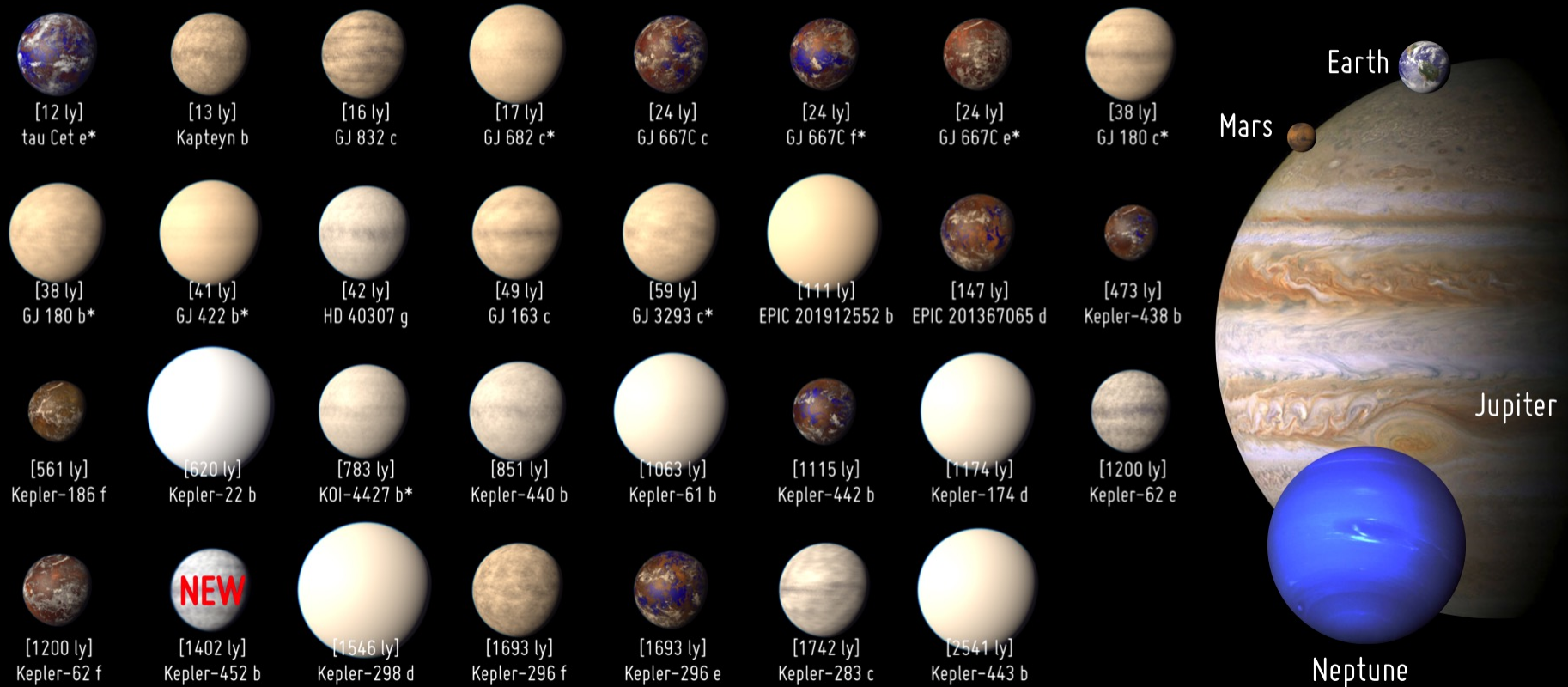
... ja galaktikaid omakorda sadu miljardeid



Eksoplaneedid, kus võib leiduda vedelat vett

Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by Distance from Earth (light years)

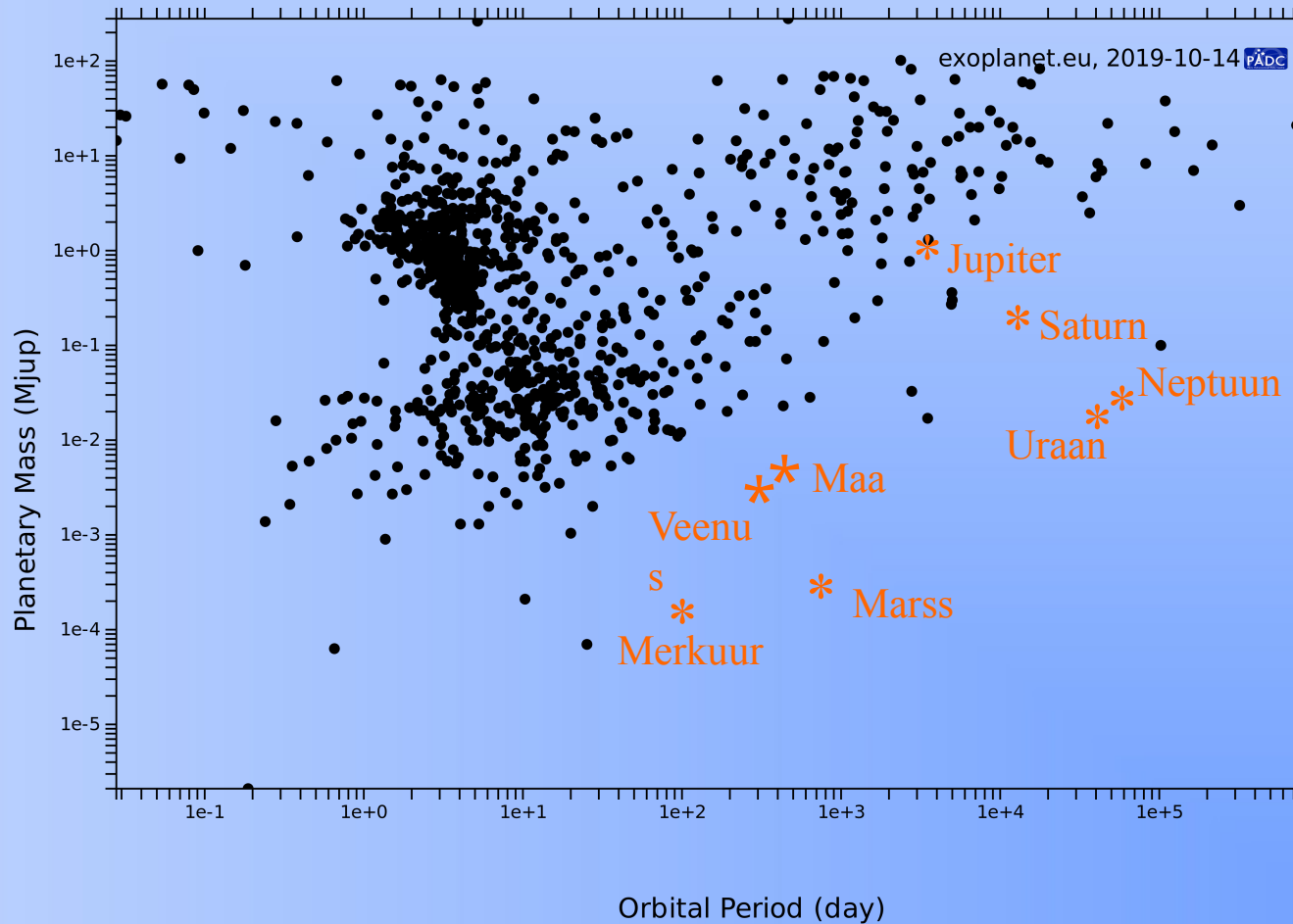


Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance is between brackets. Planet candidates indicated with asterisks.

CREDIT: PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) July 23, 2015

- **Planeedid koosnevad peamiselt keemilistest elementidest (C, N, O, Si, Fe jt. metallid, ka H, He), mis on toodetud tähtedes - tuumareaktsioonides ja supernoova plahvatustes**
- **Päike ja Päikesesüsteem tekkisid umbes 4,6 miljardit aastat tagasi ehk ca 9 miljardit aastat pärast Suurt Pauku - selleks ajaks oli tähtede tooraines piisavalt H ja He-st raskemaid keemilisi elemente**
- **Päikesesüsteemi tekkest kulus veel tubli 4,5 miljardit aastat mõistuslike olendite ilmumiseni selle ühel planeedil**
- **Kui mõistusliku elu tekkimine nii palju aega võtab, siis ei pruugi see veel Universumis väga laialt levinud olla?**

Ometi võivad Päikesesüsteem ning selle planeetide paigutus ja omadused olla midagi erandlikku ja haruldast ...



**Igal juhul elame heal ajal huvitavas Universumis,
mida üritame vaadelda ja mõista**



Tänan ära kuulamast!

**laurits.leedjarv@to.ee
laurits.leedjarv@ut.ee**