



Igor Žiberna

PLANETI ZUNAJ OSONČJA

Slovenska Bistrica, 15. oktober 2021

Opredeflitev pojma „planet“

in

kratka zgodovina odkrivanja planetov zunaj Osončja

Mednarodna astronomska zveza je leta 2006 sprejela naslednjo delitev teles v Osončju, ki krožijo okoli Sonca:

Planet je vesoljsko telo, ki kroži okoli Sonca, ki ima dovolj veliko maso, da z lastno težo doseže hidrostatično ravnotežje oziroma (skoraj) okroglo obliko in je počistilo okolico svoje orbite.

Pritlikavi planet je vesoljsko telo, ki kroži okoli Sonca, ki ima dovolj veliko maso, da z lastno težo doseže hidrostatično ravnotežje oziroma (skoraj) okroglo obliko in ni počistilo okolico svoje orbite.

Mala telesa so vsa ostala telesa, ki krožijo okoli Sonca.

Suhoparna „tehnična“ definicija planeta zunaj Osončja (ali eksoplaneta) je:

Planet zunaj Osončja je planet, ki kroži okoli zvezde.

Raziskave kažejo tudi na obstoj planetov, ki se gibljejo prosto in ne krožijo okrog nobene zvezde (potepuški planeti ali rogue planets).

Za takšna telesa ne velja delovna definicija planeta, ki jo je sprejela Mednarodna astronomska zveza.

Leta 1855 je **W. S. Jacob** z Observatorija Madras Britanske vzhodnoindijske družbe poročal, da zaradi nepravilnosti tirnic v dvozvezdju 70 Kačenosca (70 Oph) v njem obstaja »planetno telo«.

V 1890-ih je ameriški astronom **Thomas Jefferson Jackson See** z Univerze v Chicagu in Pomorskega observatorija ZDA (USNO) potrdil, da nepravilnosti tirnic zvezd nakazujejo obstoj temnega telesa v tem dvozvezdju s 36-letno periodo okrog ene od zvezd.

V 50. in 60. letih 20. stoletja je **Peter van de Kamp** z Observatorija Sproul Coledge Swarthmore večkrat objavil odkritje izvenosončnega planeta nekaterih zvezd kot sta, nam peta najbližja zvezda, Lalande 21185 in druga najbližja, Barnardova zvezda. Njegovih raziskav astronomi v splošnem niso sprejeli.

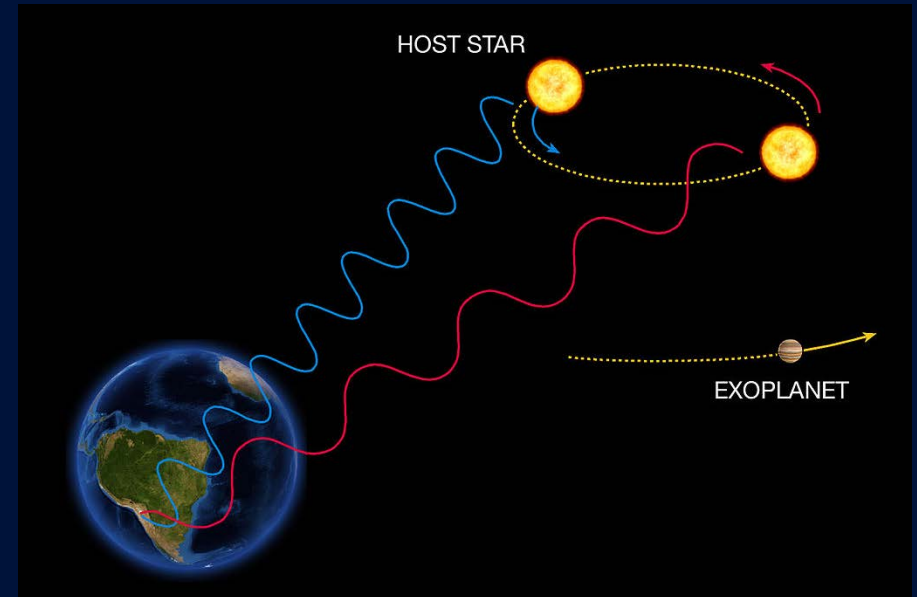
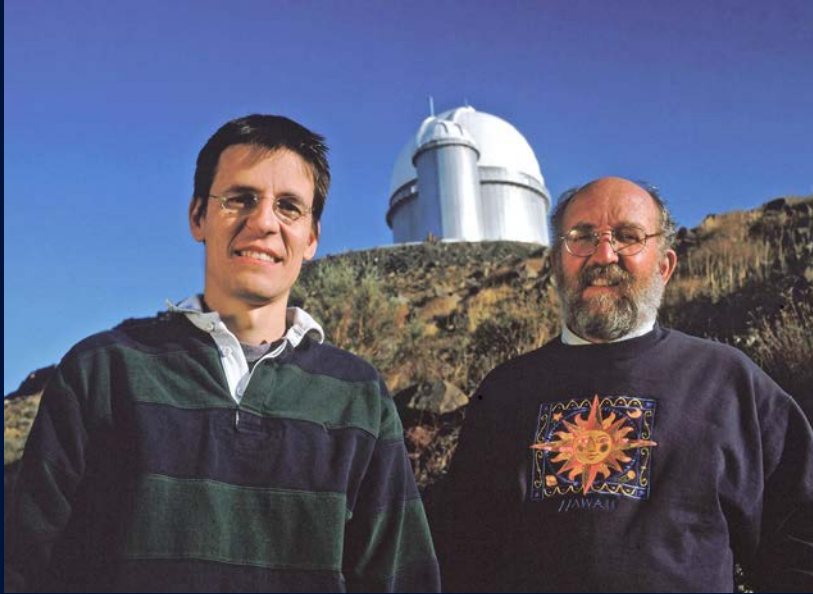
Prvi so potrjeno odkritje objavili leta 1988 kanadski astronomi Bruce Campbell, Gordon A. H. Walker in Stephenson Yang. Njihove raziskave radialnih hitrosti so nakazovale, da okrog zvezde Alrai (γ Kefeja) kroži planet. Na njihovo odkritje so nekaj let gledali z določeno mero dvomljivosti, predvsem zaradi tedanjih zmogljivosti inštrumentov.

Druga težava pri tem je bila da so bili lahko nekateri možni kandidati za planete v resnici rjave plitlikavke, telesa ki so po masi med planeti in zvezdami.

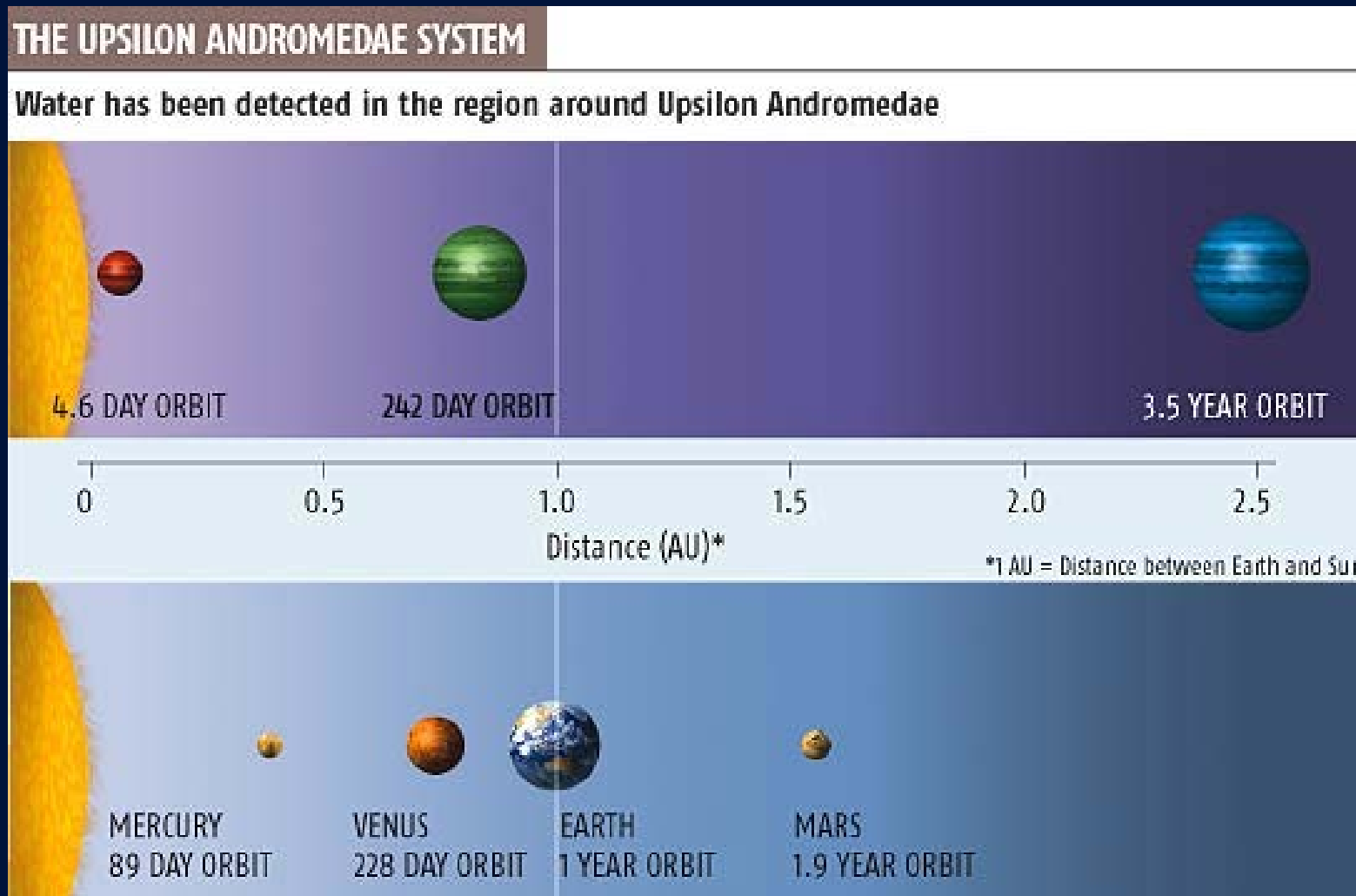
Prvi planet okoli pulzarja, ki so ga lahko potrdili, so odkrili leta 1992. Šlo je za planet **PSR B1257+12 b** (ali Draugr), ki so ga odkrili v orbiti okoli pulzarja PSR B1257+12 v ozvedju Device.

Prvi planet, ki se giblje v orbiti okoli zvezde na glavni veji H-R diagrama je bil odkrit leta 1995. Šlo je za planet **51 Pegasi b**.

Planet Pegasi 51 b sta 6. oktobra 1995 odkrila švicarska astronoma Michel Mayor (desno) in Didier Queloz. Oba sta za to odkritje leta 2019 prejela Nobelovo nagrado.



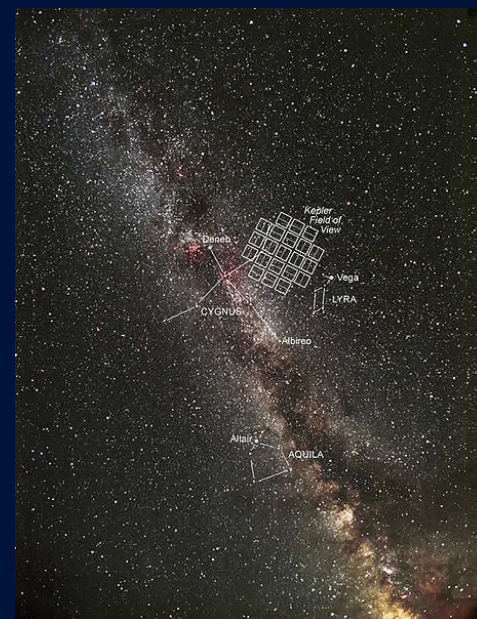
Leta 1999 so v ozvezdju u Andromede odkrili prvo osončje z več planeti.



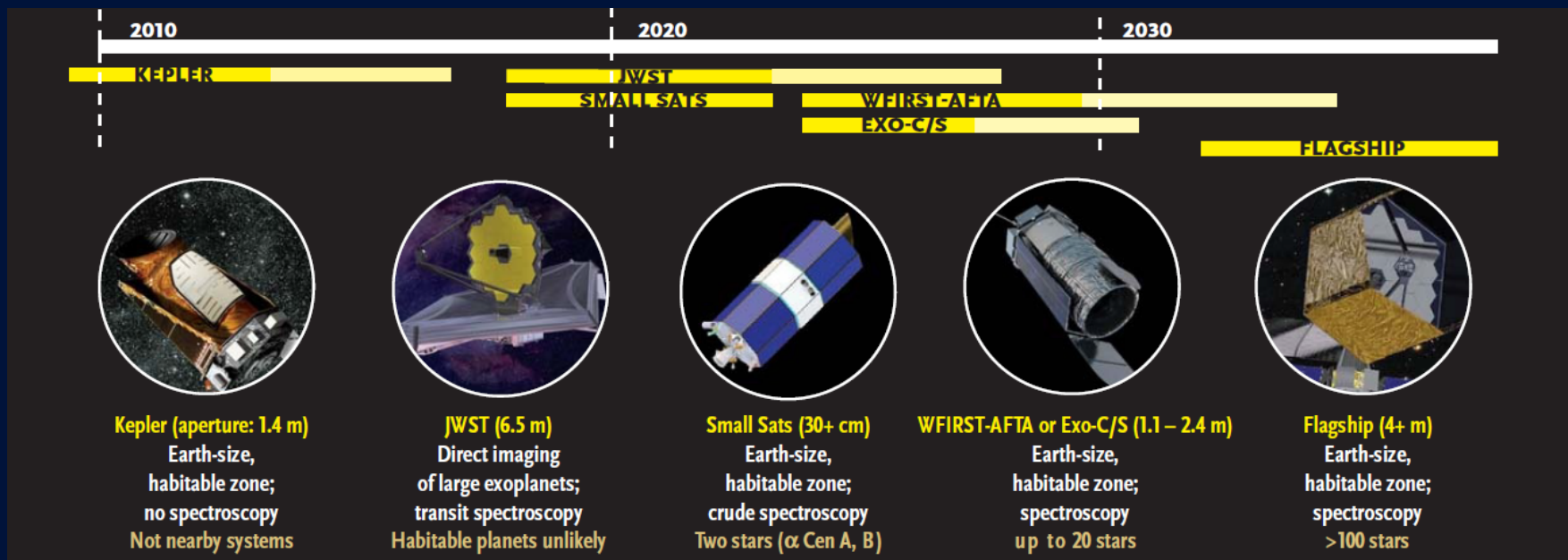
Marca 2009 je NASA izstrelila sondo Kepler, katere cilj je iskanje planetov zunaj našega Osončja. Pri iskanju uporablja metodo prehoda planeta preko matične zvezde. Območje iskanja zajema 115 kvadratnih ločnih stopinj veliko območje v ozvezdju Laboda, Lire in Zmaja.

- območje leži izven ekliptične ravnine, zato Sonce ni moteč dejavnik
- to območje ni zastrto s Kuiperjevim pasom
- v tem območju se nahajajo zvezde na primerni razdalji od jedra galaksije.

Sonda Kepler je sposobna zaznavati tudi manjša telesa, ki so do 600 krat manj masivna od Jupitra.



Nekaj načrtovanih vesoljskih teleskopov, katerih naloga bo tudi odkrivanje eksoplanetov



Podatke o planetih zunaj Osončja je mogoče pridobiti na spletni strani NASA Exoplanet Archive...

NASA EXOPLANET ARCHIVE
A SERVICE OF NASA EXOPLANET SCIENCE INSTITUTE

FOR THE PUBLIC PLANET QUEST

W f t g+ y

Home About Us Data Tools Support Login

3,726 Confirmed Planets 05/10/2018 → 613 Multi-Planet Systems 05/10/2018 → 4,496 Kepler Candidates 08/31/2017 → View more Planet and Candidate statistics →

Explore the Archive

Name or Coordinates Search

Optional Radius (arcsec) ? Advanced Search →

Transit Surveys 75,034,034 Light Curves

Kepler The first space mission to search for Earth-sized and smaller planets in the habitable zone of other stars in our neighborhood of the galaxy.

Search Stellar Data → Objects of Interest (KOI) →

Threshold-Crossing Events → Documentation →

Completeness and Reliability Products → API Queries →

Kepler K2 KELT SuperWASP UKIRT

One Microlensing Planet Added!
May 17, 2018 • New Data
This week we've added one microlensing planet, OGLE-2017-BLG-1434L b, which is a super-Earth that orbits a very small and cold M-dwarf. (Click for details)

News → 1 2 3 4 Plots → 1 2 3 4

Tools & Services

Periodogram → Predicted Observables for Exoplanets Service →

Transit and Ephemeris Service → Build a Query (API) →

EXOFAST: Transit and RV Fitting → Search Extended Planet Data →

Work with Data

Search Interactive Tables → Confirmed Planets →

Emission Spectroscopy → Pre-Generated Plots →

Transmission Spectroscopy → ExoFOP →

... na spletni strani Exoplanet.eu ...

Exoplanet.eu Home All Catalogs Diagrams Bibliography Research Meetings Other Sites VO

The Extrasolar Planets Encyclopaedia

Established in February 1995
Developed and maintained by the [exoplanet TEAM](#)
update : May 22, 2018 (3781 planets)
Please report any problems to vo.exoplanet@obspm.fr

All Catalogs
Filter, sort, export — arbitrary data manipulations with the Extrasolar Planets Encyclopaedia

Diagrams
Analyze the Extrasolar Planets Encyclopaedia data online. Simple plotting tool right in the browser

News

June 7, 2017 The Angular Momentum Deficit (AMD) is a key parameter to understand the long-term stability of planetary systems. Indeed the AMD can be used to define a criterion guaranteeing the long-term stability: the AMD-stability. The AMD-stability can be used to establish a classification of the multiplanet systems in order to exhibit the planetary systems that are long term stable because they are AMD-stable, and those that are AMD-unstable which then require some additional dynamical studies to conclude on their stability. A tool for computation of AMD-stability is accessible in the planet page of the following systems : 24 Sex - 47 Uma - 55 Cnc - 61 Vir - BD-06 1339 - BD-08 2823 - CoRoT-7 - GJ 163 - GJ 180 - GJ 3293 - GJ 649 - GJ 667 C - GJ 676 A - GJ 682 - GJ 785 - GJ 832 - GJ 876 - HAT-P-13 - HD 10180 - HD 102272 - HD 108874 - HD 109271 - HD 110014 - HD 113538 - HD 11506 - HD 117618 - HD 11964 - HD 125612 - HD 12661 - HD 128311 - HD 133131 A - HD 134060 - HD 134606 - HD 134987 - HD 136352 - HD 13808 - HD 13908 - HD 141399 - HD 142 - HD 143761 - HD 1461 - HD 147018 - HD 147873 - HD 154857 - HD 155358 - HD 159243 - HD 159868 - HD 1605 - HD 163607 - HD 164922 - HD 168443 - HD 169830 - HD 177830 - HD 181433 - HD 183263 - HD 187123 - HD 190360 - HD 20003 - HD 200964 - HD 202206 - HD

Tutorials
update : May 3, 2018

Bibliography
update : May 22, 2018

Research
update : Feb. 15, 2017

Meetings
update : April 18, 2018

Theory Work
update : Nov. 22, 2017

Other sites
update : Jan. 17, 2018

...ali na spletni strani Exoplanet.org.

exoplanets.org Exoplanets Data Explorer Methodology and FAQ Exoplanets Links California Planet Survey

Table **2925** EOD Planets
Planets with good orbits listed in the Exoplanet Orbit Database

Plots **25** Other Planets
Including microlensing and imaged planets

Search **2950** Total Confirmed Planets

2337 Unconfirmed Kepler Candidates

5287 Total Planets
Confirmed planets + Kepler Candidates

The Exoplanet Data Explorer is an interactive table and plotter for exploring and displaying data from the Exoplanet Orbit Database. The Exoplanet Orbit Database is a carefully constructed compilation of quality, spectroscopic orbital parameters of exoplanets orbiting normal stars from the peer-reviewed literature, and updates the Catalog of nearby exoplanets.

A detailed description of the Exoplanet Orbit Database and Explorers is published [here](#) and is available on [astro-ph](#).

In addition to the Exoplanet Data Explorer, we have also provided the entire Exoplanet Orbit Database in CSV format for a quick and convenient download [here](#). A list of all archived CSVs is available [here](#).

Help and documentation for the Exoplanet Data Explorer is available [here](#). A FAQ and overview of our methodology is [here](#), including answers to the questions "Why isn't my favorite planet/datum in the EOD?" and "Why does site X list more planets than this one?".

Shawn Wolfe has created an external search engine for the EOD [here](#). Send feedback to [Shawn Wolfe](#).

If you use this resource in a publication, please cite [this paper](#) and include the following acknowledgement:

"This research has made use of the Exoplanet Orbit Database and the Exoplanet Data Explorer at exoplanets.org."

Število planetov zunaj Osončja in število osončij:

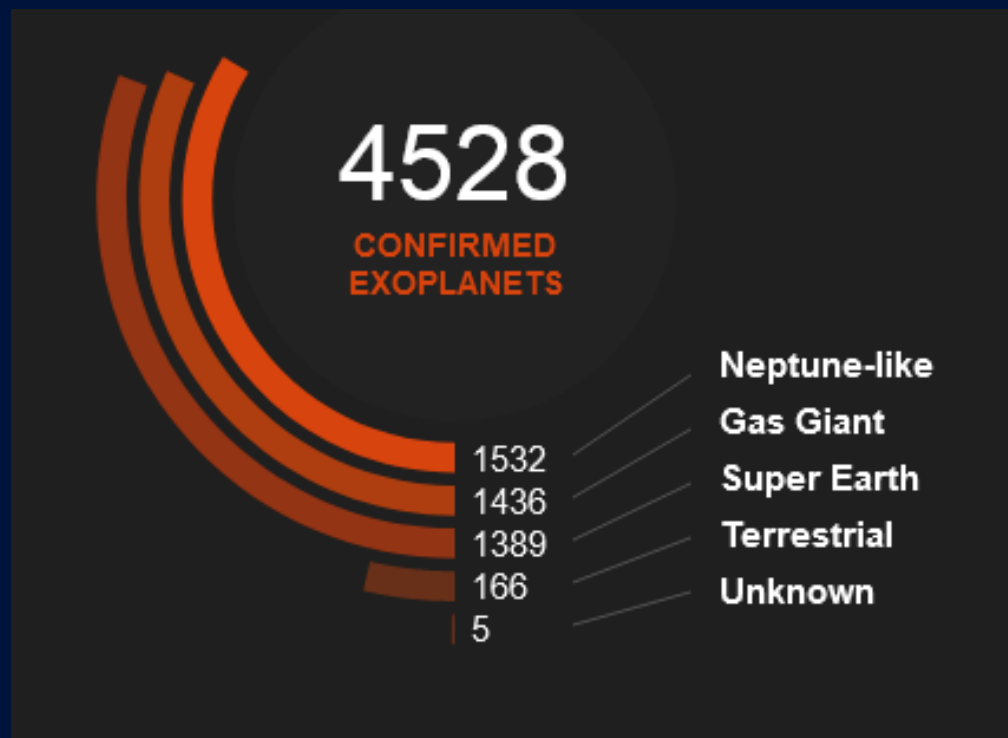
NASA (do 14. 10. 2021):

4528 planetov

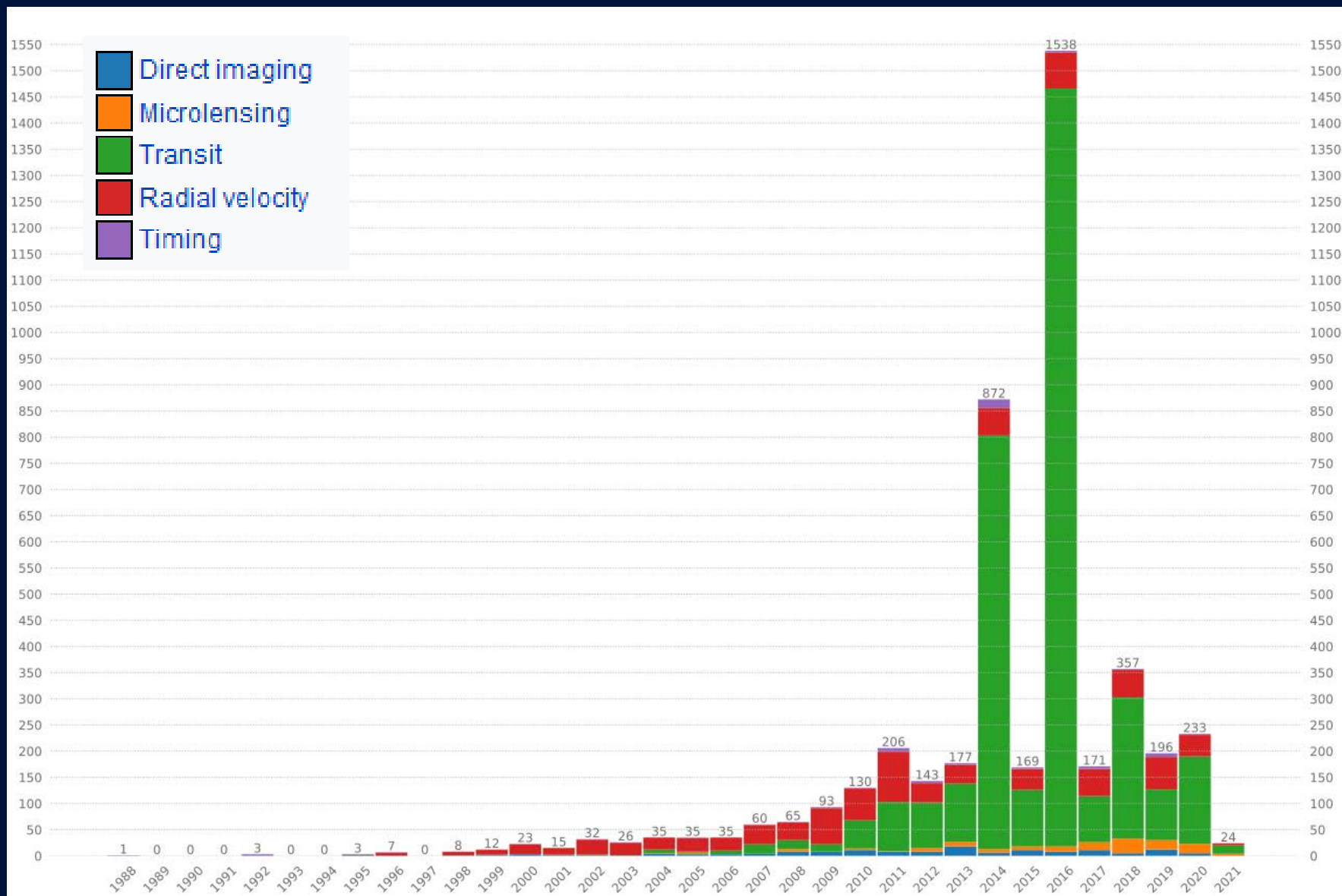
7789 kandidatov za planete zunaj Osončja

3360 osončij

797 večplanetnih sistemov



Število odkritih planetov zunaj Osončja po letih glede na metodo odkrivanja



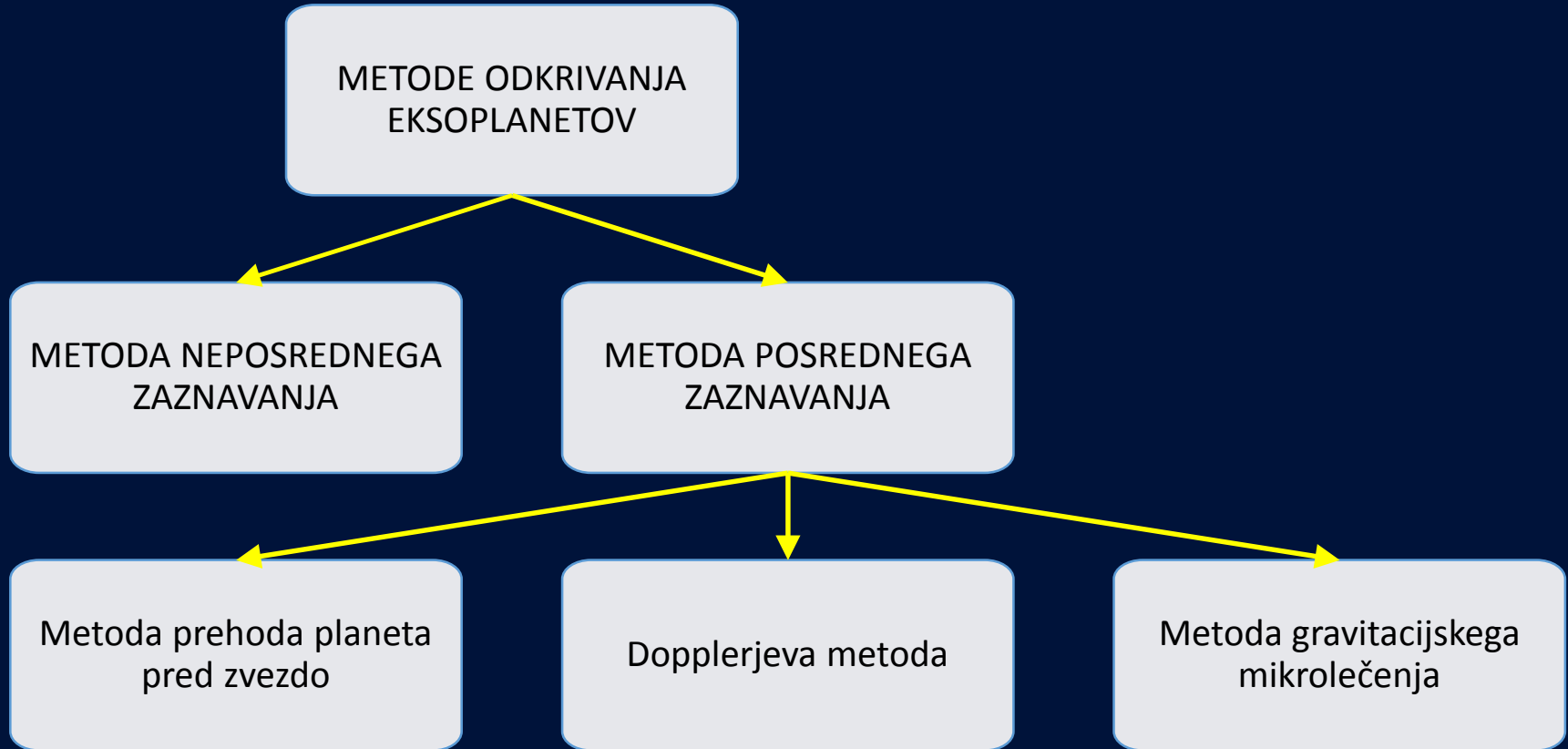
Statistično vzeto ima vsaka peta Soncu podobna zvezda Zemlji podoben planet v habitabilni coni.

Ob predpostavki, da je po grobi oceni v Galaksiji 200 mrd. zvezd, bi lahko sklepali, da je Zemlji podobnih planetov v habitabilni coni 40 mrd.

Vendar..... Pogoji za nastanek in razvoj življenja, kot ga poznamo na Zemlji so zapleteni.

Metode odkrivanja planetov zunaj Osončja

Danes pri iskanju planetov izven našega Osončja uporabljamo naslednje metode:



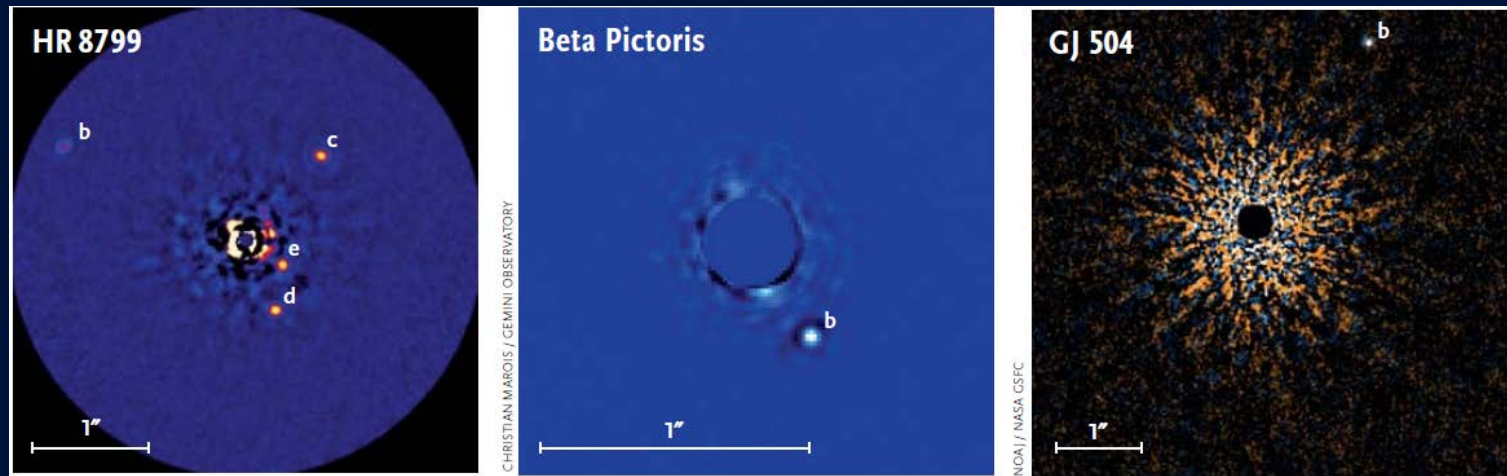
A. METODA NEPOSREDNEGA ZAZNAVANJA:

Pri metodi, ki se uporablja od leta 2008 zaznavamo planet neposredno, s snemanjem v vidnem ali IR delu spektra.

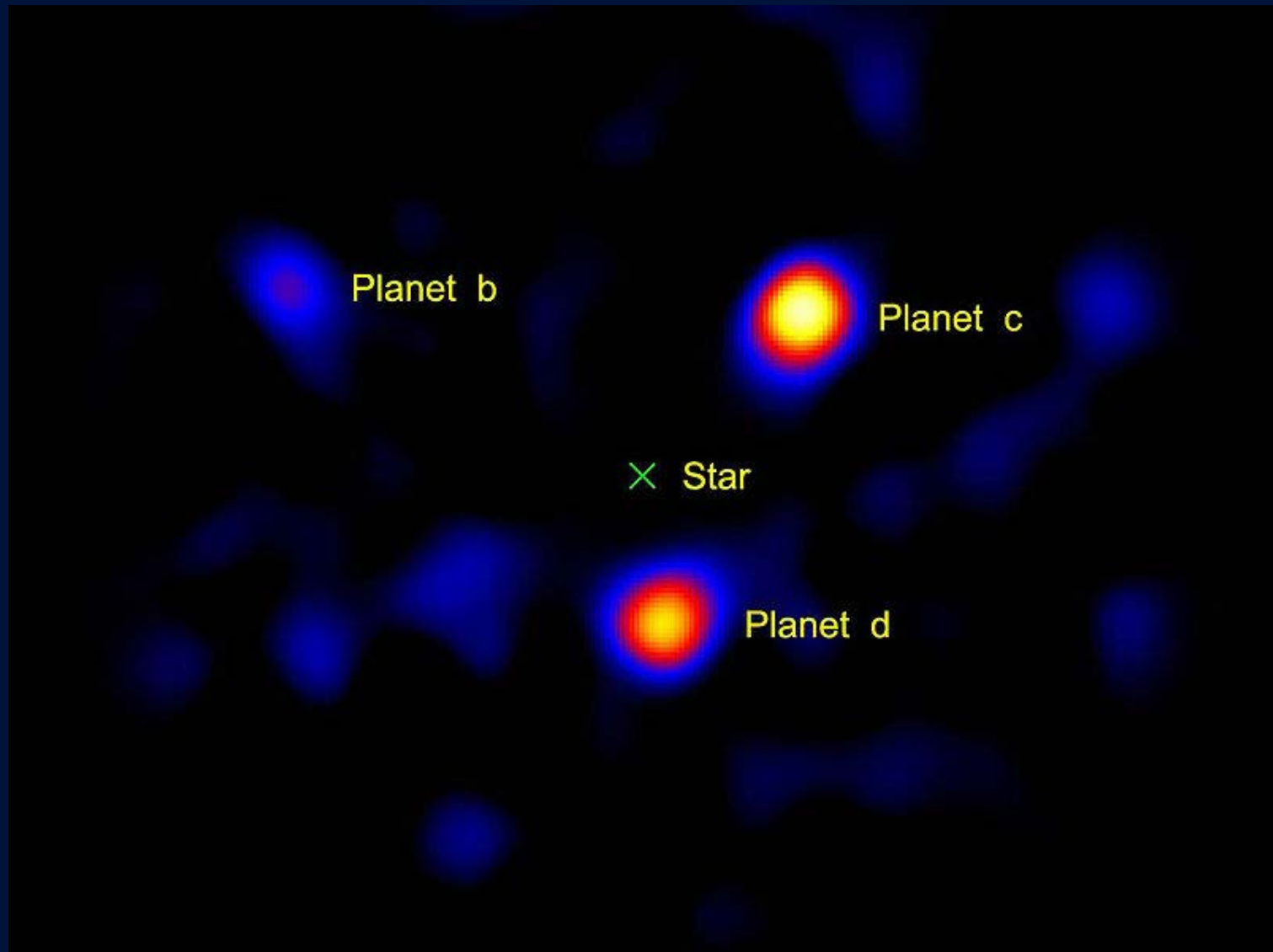
Planeti so izjemno šibek vir svetlobe, pa še ta se izgubi v blišču matične zvezde, zato je ta metoda šele na začetku razvoja, z izboljšano tehnologijo kamer pa lahko pričakujemo, da bo ta metoda v prihodnjih desetletjih močno pridobila na pomenu.

Pri tej metodi je vseeno, kakšna je orbita planeta okoli matične zvezde. Planet bomo lažje odkrili:

- če je osončje bližje našemu,
- če je planet bolj oddaljen od matične zvezde,
- če je planet velik (večji od Jupitra)
- če planet seva veliko energije v IR delu spektra



Trije planeti, odkriti leta 2010, ki se gibljejo okoli zvezde HR8799 v ozvezdju Pegaza



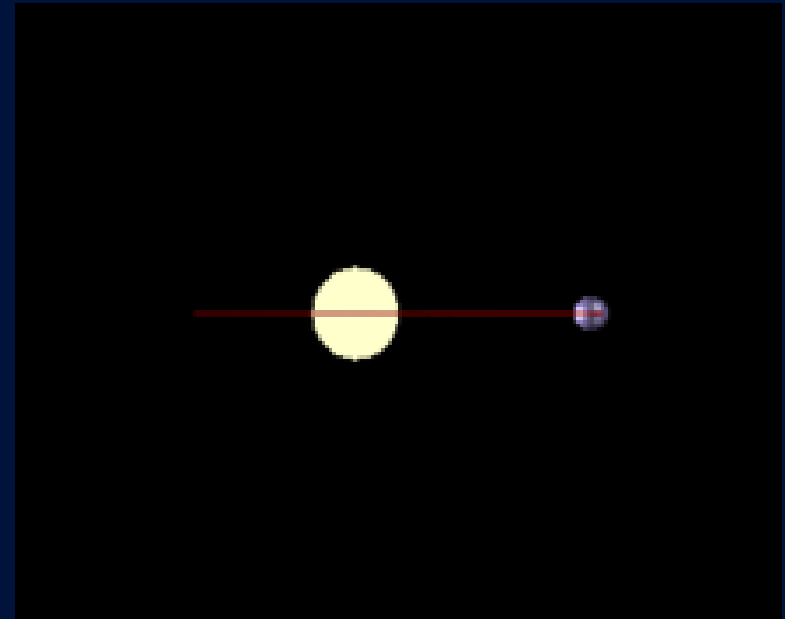
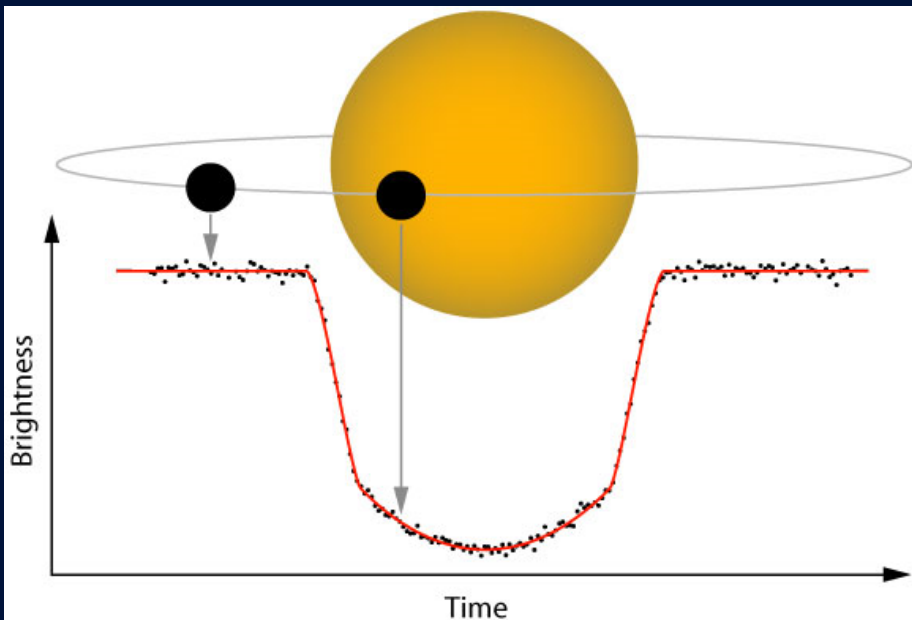
B. METODA POSREDNEGA ZAZNAVANJA

1. Metoda prehoda planeta pred zvezdo

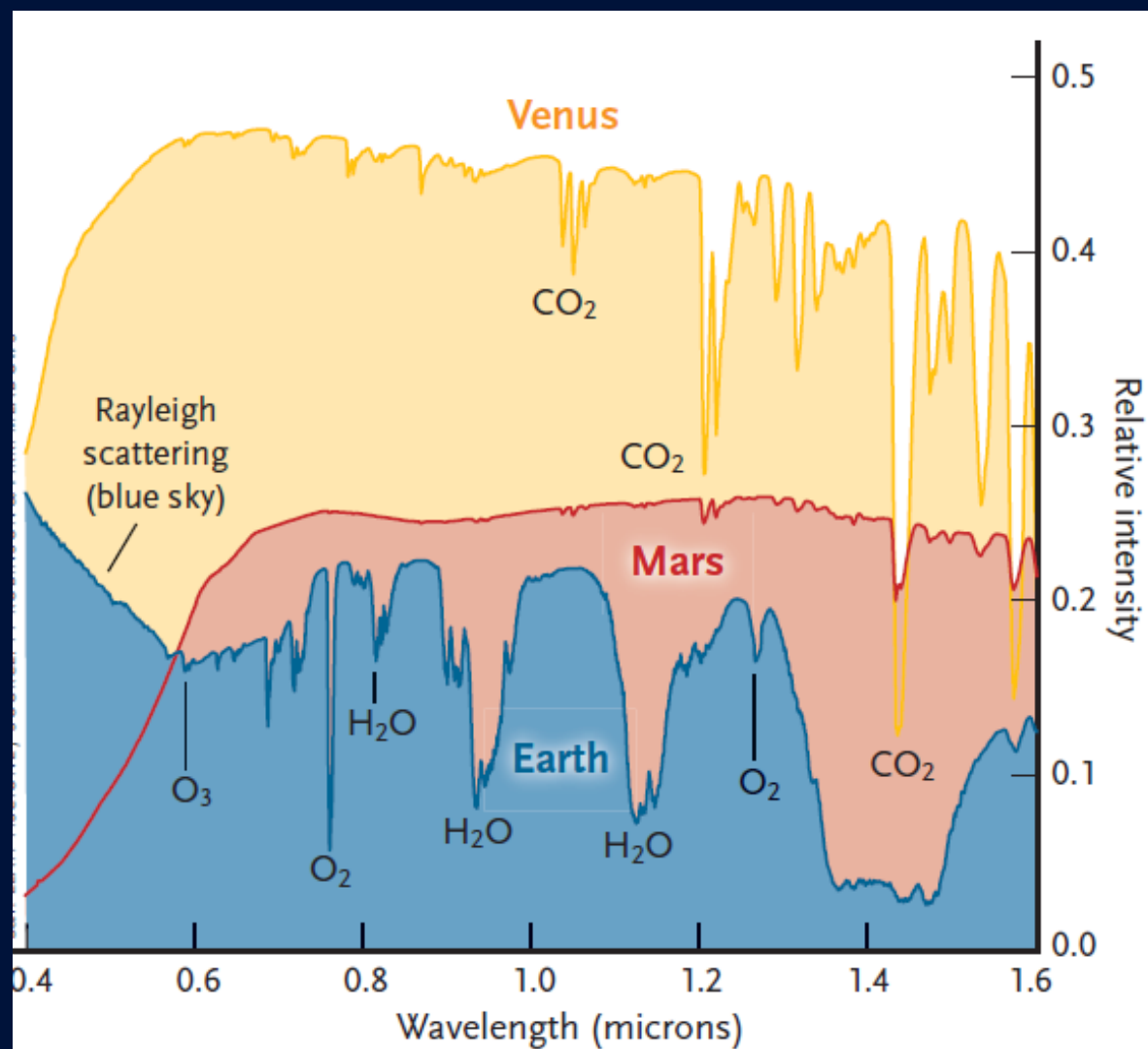
Metoda temelji na dejstvu, da planeti, katerih orbita se nahaja v ravnini Zemlje prekrivajo matično zvezdo, zaradi česar sij zvezde pade.

Slabost te metode je v tem, da z njo lahko odkrivamo le planete z orbito v ravnini Zemlje.

Keplerjev vesoljski teleskop odkriva ekspoplanete po tej metodi.



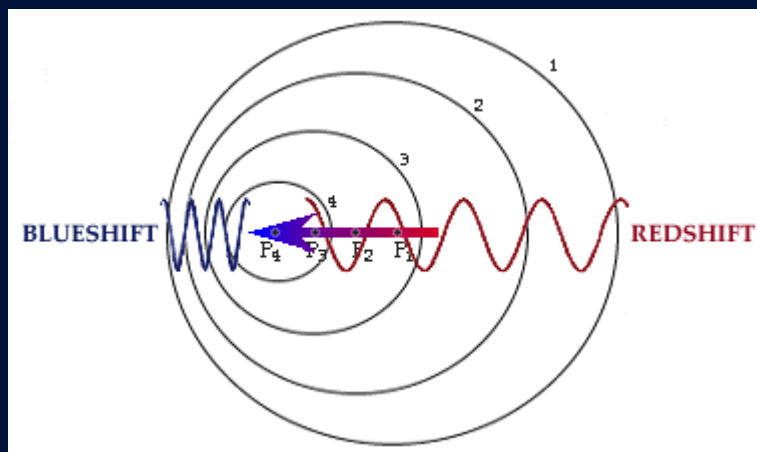
Pri prehodu eksoplaneta pred matično zvezdo lahko pri večjih in bližnjih planetih s spektralno analizo celo ocenimo zgradbo njegove atmosfere, če jo ta seveda ima.



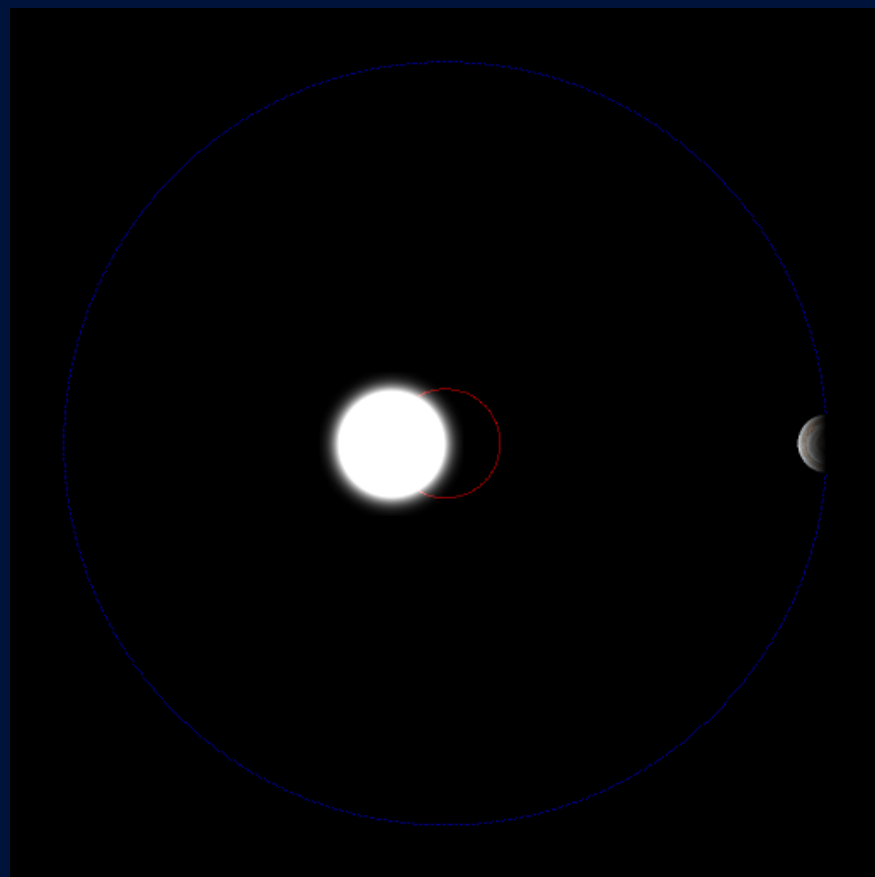
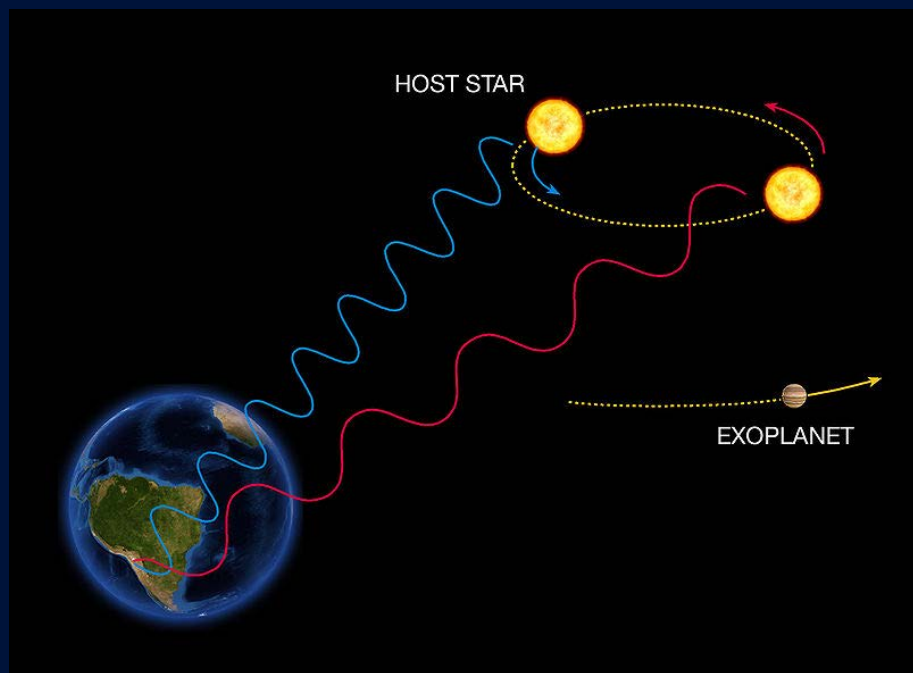
B. METODA POSREDNEGA ZAZNAVANJA

2. Dopplerjeva metoda

Metoda temelji na Dopplerjevemu pojavu. Predmeti, ki se nam približujejo oddajajo valovanje s spektrom, pomaknjenim v krajše valovne dolžine. Pri oddaljevanju objektov so njihovi spektri pomaknjeni v daljše valovne dolžine.



Zaradi vzajemnega gravitacijskega delovanja matične zvezde in eksoplaneta se obe telesi gibljeta okoli skupnega težišča. To pomeni, da se tudi matična zvezda nekoliko premika (naprej in nazaj), kar povzroča spremembe v njenem spektru. Periodična sprememba spektra zvezde je lahko zelo dober indikator, da okoli nje krožijo eksoplaneti.

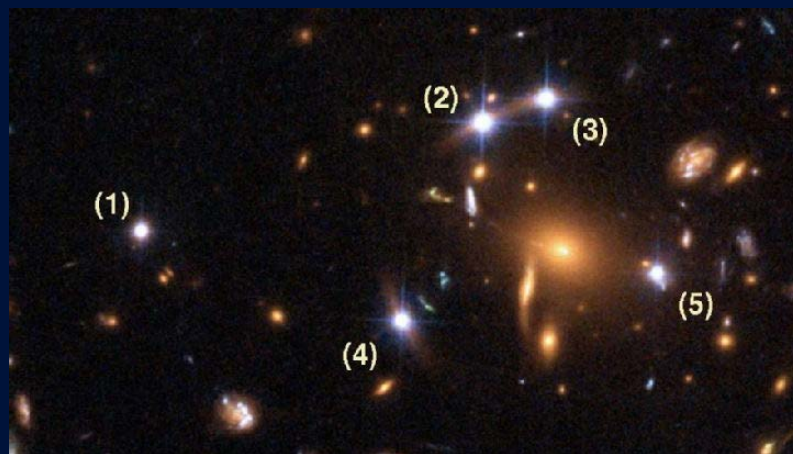
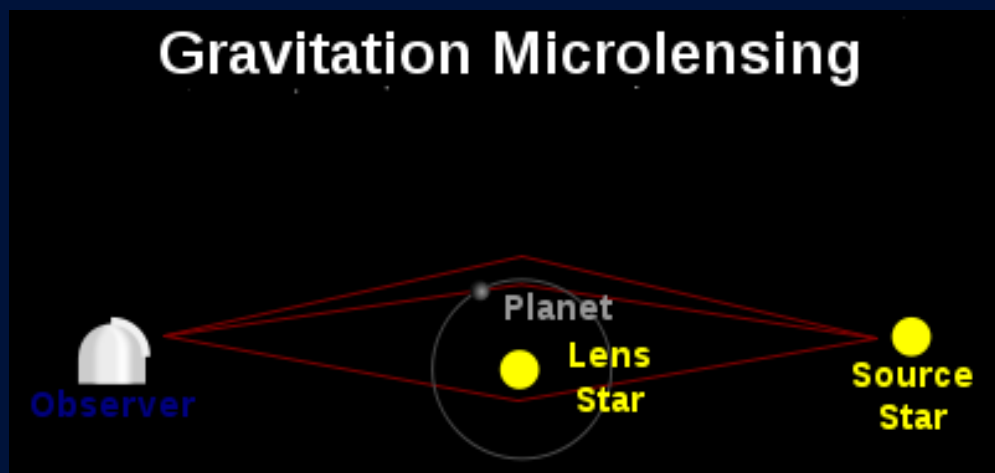


B. METODA POSREDNEGA ZAZNAVANJA

3. Metoda gravitacijskega mikrolečenja

Gravitacijsko mikrolečenje je pojav, pri katerem zaradi gravitacijskega polja dana zvezda ukrivlja svetlobo, ki prihaja iz te zvezde.

Če se zgodi, da sta iz našega gledišča poravnani dve zvezdi, bo nam bližja ukrivila (ojačala) svetlobo, ki prihaja iz bolj oddaljene zvezde. Če ima nam bližja zvezda še planet, ki v času mikrolečenja potuje pred svojo matično zvezdo, to nekoliko oslabi učinek mikrolečenja, kar se manifestira v nenadnem padcu sija.



Splošne značilnosti planetov zunaj Osončja

Tipizacij planetov zunaj Osončja je več. Najobičajnejša je tista, ki za kriterij uporablja velikost eksoplaneta v primerjavi z Zemljo:

- Zemlji podobni planeti ($R < 1,25 R_{\oplus}$)
- „Super-Zemlje“ ($1,25 - 2 R_{\oplus}$)
- Neptunu podobni planeti ($2-6 R_{\oplus}$)
- Jupitru podobni planeti ($6-12 R_{\oplus}$)
- „Super-Jupitri“ ($>15 R_{\oplus}$)

Orbita

V splošnem je pri zvezdah z večjim deležem težjih elementov (tistih, ki v periodnem sistemu sledijo vodik in helij) večja verjetnost za nastanek planeta. Pri teh zvezdah je tudi večja verjetnost za nastanek masivnejših planetov.

Čeprav so sprva domnevali, da bi bile orbite planetov okoli dvojnih ali večkratnih zvezdnih sistemov preveč nestabilne, danes že imamo dokaze o obstoju treh osončij okoli trojnega sistema zvezd in enega osončja okoli četvornega sistema zvezd.

Planet Kepler-64b kroži v zapletenem sistemu: planet kroži okoli tesne dvojne zvezde. Okoli osončja na večji razdalji krožita še dve zvezdi.

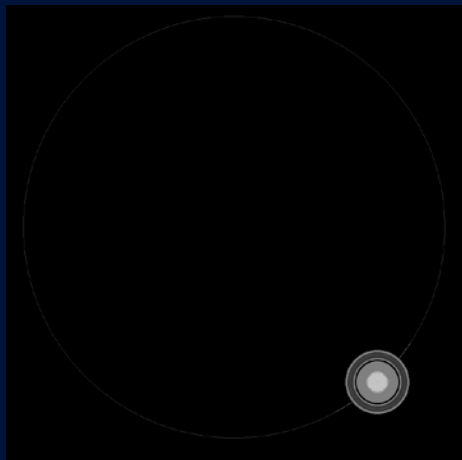


Sij

- Najtemnejši znani eksoplanet TrES-2b ima albedo 1%. Nizek albedo je morda posledica visokih koncentracij natrija in kalija v njegovi atmosferi ali kake druge še neznane snovi.
- Albedo eksoplaneta pada z višanjem koncentracij težjih elementov v atmosferi in z višanjem temperature (manj ledenih kristalčkov).
- Debelina oblačnega pokrova povečuje albedo in niža delež sevanja v IR delu spektra.
- Albedo se viša s starostjo planeta (večja debelina oblačnega pokrova)
- Albedo se znižuje z maso planeta (zaradi večje gravitacije manjša debelina oblačnega pokrova)
- Zelo ekscentrična orbita eksoplaneta lahko povzroča velike spremembe v albedu v času enega obhoda okoli matične zvezde.

Obroči

- Neposredne zaznave obroča okoli eksoplanetov še nimamo.
- Eksoplanet 1SWASP J140747.93-394542.6 (morda gre celo za rjavo pritlikavko) je eden od najresnejših kandidatov za eksoplanet z obročem.
- Na osnovi sorazmerno visokega albeda je možno, da ima obroč tudi eksoplanet Fomalhaut b.



Pri matični zvezdi bližnjih eksoplanetih z obročem in z večjim naklonom osi je možno, da ravnine obročev niso identične:

- zunanji deli obroča (večji gravitacijski vpliv matične zvezde) so bolj poravnani z ravnino orbite eksoplaneta okoli matične zvezde,
- notranji deli obroča (manjši relativni gravitacijski vpliv matične zvezde) so poravnani z ekvatorialno ravnino eksoplaneta.

Tak eksoplanet bi torej imel pravo pahljačo obročev.

Eksolune

- Potrditve obstoja eksolune zaenkrat še nimamo. Zaenkrat imamo 19 kandidatov za eksolune. Njihov obstoj bodo morda potrdila opazovanja in meritve z zmogljivejšimi napravami in teleskopi.

Atmosfera

Doslej so bili obstoji atmosfere na eksoplanetih potrjeni predvsem na večjih planetih, velikosti Jupitra ali Neptuna.

Trenutno smo sposobni detektirati in analizirati sestavo atmosfere eksoplaneta s pomočjo spektralne analize.

Če je orbita eksoplaneta v ravnini Zemlje, lahko na osnovi spektralne analize svetlobe, ki prihaja z matične zvezde „preberemo“ atmosfero in njeno sestavo.

Posebej veliko vznemirjenja so med planetologi povzročile zaznave morebitnih **planetov brez matične zvezde** (rogue planets), ki so dobili še različna druga „ljubkovalna“ imena: potepuški planeti, planeti sirote, nomadski planeti, brezzvezdni planeti itd.

Nekaj kandidatov za potepuške planete:

Ime eksoplaneta	Masa (M_J)	Starost (mio. let)	Razdalja (sv.let)	Leto odkritja
OTS 44	~15	0.5–3	160	1998
S Ori 52	2–8	1–5	1150	2000
Cha 110913-773444	5–15	~2	163	2004
UGPS J072227.51-054031.2	5–40		13	2010
[MPK2010b] 4450	2–3		325	2010
CFBDSIR 2149-0403	4–7	110–130	117–143	2012
MOA-2011-BLG-262	~4			2013
PSO J318.5-22	5.5–8	21–27	80	2013
2MASS J2208+2921	11–13	21–27	115	2014
WISE J1741-4642	4–21	23–130		2014
WISE 0855-0714	3–10		7.1	2014
2MASS J12074836-3900043	11–13	7–13	200	2014
SIMP J2154-1055	9–11	30–50	63	2014
SDSS J111010.01+011613.1	10–12	110–130	63	2015
2MASS J1119-1137	4–8	7–13	94	2016
WISEA 1147	5–13	7–13	94	2016

Indeks podobnosti Zemlji (Earth Similarity Index)
in
potencialni habitabilni planeti zunaj Osončja

Indeks podobnosti Zemlji (Earth Similarity Index ali ESI) je brezdimanzionalno število, ki kaže stopnjo podobnosti planetu Zemlji in se giblje od 0 (nikakršna podobnost) do 1 (Zemlji popolnoma identičen eksoplanet).

Kriteriji, ki se uporabljajo pri določanju ESI so:

- polmer eksoplaneta
- gostota
- ubežna hitrost
- temperatura površja.

Prva dva kriterija se navezujeta na značilnosti notranjosti, ostala dva pa na značilnosti površja eksoplaneta.

ESI še ne govori o morebitni **habitabilnosti eksoplaneta**.

Indeksi podobnosti Zemlji

Planet	ESI
Zemlja	1.00
Gliese 581 g	0.89*
Kepler-438b	0.88
Ross 128 b	0.86
Luyten b	0.86
LHS 1723 b	0.86
Kepler-62e	0.83
Gliese 832 c	0.81
Gliese 581 d	0.74
Gliese 581 c	0.70
Merkur	0.60
HD 69830 d	0.60
Luna	0.56
55 Cnc c	0.56
Gliese 581 e	0.53

Poleg ESI in habitabilnosti se pri eksoplanetih občasno uporablja še tretji kriterij: zemljin približek ali zemljin dvojček (Earth analog), ki se opira zgolj na maso in polmer.

Eno od najučinkovitejših meril je velikost, saj so planeti velikosti Zemlje verjetno zaradi svoje mase sposobni vzdrževati dovolj veliko atmosfero. Predvsem nas zanimajo polmer, masa in temperatura planetov in naravnih satelitov, ki jih primerjamo z Zemljo.

Hvala za potrpežljivost