

Planetos ir egzoplanetos

Rosa M. Ros, Hans Deeg, Ricardo Moreno

*International Astronomical Union
Technical University of Catalonia, Spain
Canarian Astrophysical Institute, Spain
Colegio Retamar de Madrid, Spain*



Tikslai

- Suprasti Saulės sistemos planetų duomenų lentelėse pateiktų skaitinių verčių reikšmę.
- Suprasti pagrindines išorinių Saulės planetų sistemų charakteristikas



Saulės sistema

Kuriame modelius, kurie padeda pažinti Saulės sistemą



Turiny's

Norime, kad modeliai
būtų moksliskai
pagrįsti ir rodytų tam
tikrus konkrečius
dalykus.



1 veikla: Atstumai nuo Saulės

Merkurijus	57 900 000 km		6 cm	0.4 AV
Venera	108 300 000 km		11 cm	0.7 AV
Žemė	149 700 000 km		15 cm	1.0 AV
Marsas	228 100 000 km		23 cm	1.5 AV
Jupiteris	778 700 000 km		78 cm	5.2 AV
Saturnas	1 430 100 000 km		143 cm	9.6 AV
Uranas	2 876 500 000 km		288 cm	19.2 AV
Neptūnas	4 506 600 000 km		450 cm	30.1 AV



2 veikla: Diametru modelis

Saulė	1 392 000 km		139.0 cm
Merkurijus	4 878 km		0.5 cm
Venera	12 180 km		1.2 cm
Žemė	12 756 km		1.3 cm
Marsas	6 760 km		0.7 cm
Jupiteris	142 800 km		14.3 cm
Saturnas	120 000 km		12.0 cm
Uranas	50 000 km		5.0 cm
Neptūnas	45 000 km		4.5 cm

2 veikla: Diametrų modelis



Marškinėliai su planetų
skersmenimis pagal mastelį



3 veikla: Diametrai ir atstumai nuo Saulės

Saulė	1 392 000 km			25.0 cm	
Merkurijus	4 878 km	57 900 000 km		0.1 cm	10 m
Venera	12 180 km	108 300 000 km		0.2 cm	19 m
Žemė	12 756 km	149 700 000 km		0.2 cm	27 m
Marsas	6 760 km	228 100 000 km		0.1 cm	41 m
Jupiteris	142 800 km	778 700 000 km		2.5 cm	140 m
Saturnas	120 000 km	1 430 100 000 km		2.0 cm	250 m
Uranas	50 000 km	2 876 500 000 km		1.0 cm	500 m
Neptūnas	45 000 km	4 506 600 000 km		1.0 cm	800 m

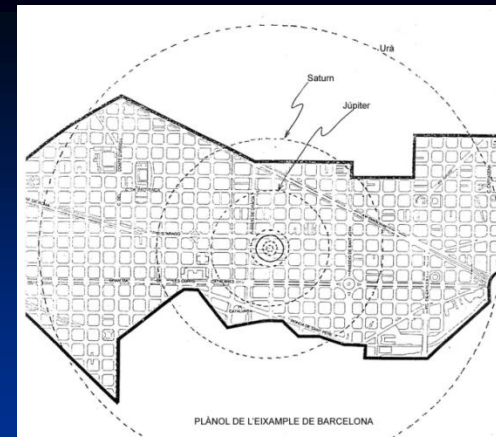
Paprastai mokyklos kiemas pasiekia tik Marsą



3 veikla: Skersmenų ir atstumų modelis žaidimų aikštelėje ...



4 veikla: Modelis mieste (Barselona)



Saulė	Skalbimo mašina	<i>Puerta Instituto</i>
Merkurijus	Ikrai	<i>Puerta Hotel Diplomatic</i>
Venera	Žirniai	<i>Pasaje Méndez Vigo</i>
Žemė	Žirniai	<i>Entre Méndez Vigo y Bruc</i>
Marsas	Pipirų grūdai	<i>Paseo de Gracia</i>
Jupiteris	Apelsinas	<i>Calle Balmes</i>
Saturnas	Mandarinas	<i>Pasaje Valeri Serra</i>
Uranas	Kaštonas	<i>Calle Entenza</i>
Neptūnas	Kaštonas	<i>Estación de San</i>

Modelis Metz mieste (Prancūzija)



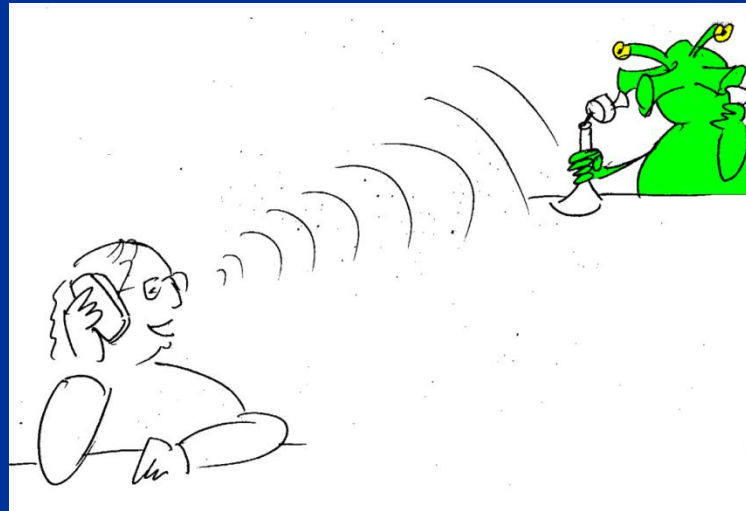
5 veikla: Laiko modelis

$$c = 300\,000 \text{ km/s}$$

Laikas, per kurį šviesa nukeliauja nuo Žemės iki Mėnulio, yra:

$$t = \text{atstumas EM} / c = 384\,000 \text{ km} / 300\,000 = 1,3 \text{ s}$$

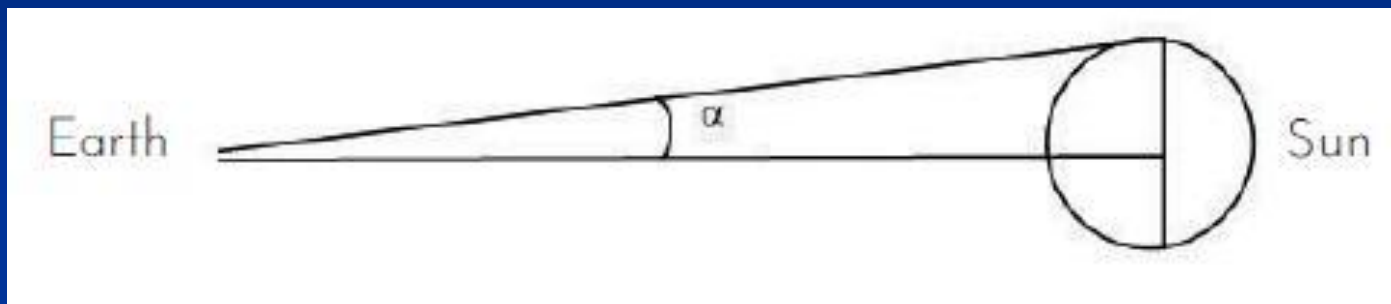
**Kaip pokalbis
tarp planetų būtų
„vaizdu“?**



Saulės šviesa patenka į

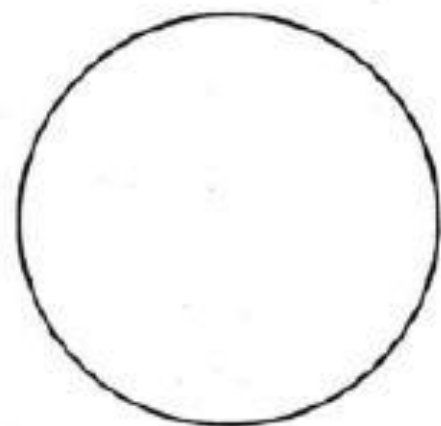
Merkurijus	57 900 000 km		3.3 minutes
Venera	108 300 000 km		6.0 minutes
Žemė	149 700 000 km		8.3 minutes
Marsas	228 100 000 km		12.7 minutes
Jupiteris	778 700 000 km		43.2 minutes
Saturnas	1 430 100 000 km		1.32 hours
Uranas	2 876 500 000 km		2.66 hours
Neptūnas	4 506 600 000 km		4.16 hours

6 veikla: Saulė, matoma iš planetų

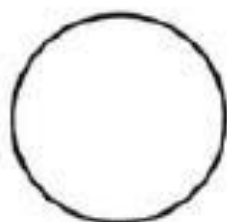


- $\alpha = \tan \alpha = \text{radius Saulė} / \text{atstumas iki Saulės}$
 $= 700\,000 / 150\,000\,000 = 0.0045 \text{ radian} = 0.255^\circ$
- Nuo Žemės Saulė matuojama $2\alpha = 0.51^\circ$

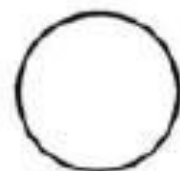
6 veikla: Saulė, matoma iš planetų



From Mercury



From Venus



From Earth



From Mars



From Jupiter



From Saturn



From Uranus



From Neptune

7 veikla: tankumo modelis

Saulė	1.41 g/cm ³	➡	Sulfur (1.1-2.2)
Merkurijus	5.41 g/cm ³	➡	Pyrite (5.2)
Venera	5.25 g/cm ³	➡	Pyrite (5.2)
Žemė	5.52 g/cm ³	➡	Pyrite (5.2)
Marsas	3.90 g/cm ³	➡	Blende (4.0)
Jupiteris	1.33 g/cm ³	➡	Sulfur (1.1-2.2)
Saturnas	0.71 g/cm ³	➡	Pine wood(0.55)
Uranas	1.30 g/cm ³	➡	Sulfur (1.1-2.2)
Neptūnas	1.70 g/cm ³	➡	Clay (1.8-2.5)



8 veikla: Plokščiasis modelis

- Iškirpkite 35 x 1 cm dydžio kartono juosteles.
- Jas pritvirtinkite prie 50 cm ilgio ir 1 cm skersmens cilindro formos lazdelės.
- Apatinį galą palikite laisvą, kad jis galėtų judėti išilgai lazdos. Sukite lazda tarp rankų greitai sukdami į vieną ir į kitą pusę.
- Išcentrinė jėga deformuoja kartonines juosteles taip, kaip deformuojasi planetos.



8 veiksmas: suplokštinimas

Planets	(ekvatorinis spindulys - poliarinis spindulys)/ ekvatorinis spindulys
Merkurijus	0.0
Venera	0.0
Žemė	0.0034
Marsas	0.005
Jupiteris	0.064
Saturnas	0.108
Uranas	0.03
Neptūnas	0.03



9 veikla: Orbitinių periodų modelis

- Prie vieno virvės galo pritvirtinkite veržlę ir laikykite priešais ją esančią virvę. Pasukite virvę virš galvos.
- Atleidus daugiau virvės, orbitinis periodas užtrunka ilgiau.
- Jei nuimsite dalį virvės, užtruksite trumpiau.



9 veikla: Žemės orbitos duomenys

Vidutinis orbitinis greitis $v = 2\pi R / T$

Žemei

$$v = 2\pi \cdot 150 \cdot 10^6 / 365$$

$$v = 2\,582\,100 \text{ km/day} = 107\,590 \text{ km/h} = 29.9 \text{ km/s}$$

(Vidutinis Saulės skriejimo aplink galaktikos centrą greitis yra 220 km/s arba 800 000 km/h.)



9 veikla: Orbitos duomenys

Planeta	Orbitos periodas (dienomis)	Atstumas nuo Saulės (km)	Vidutinis orbitos greitis (km/s)	Vidutinis orbitos greitis (km/h)
Merkurijus	87.97	57.9×10^6	47.90	172 440
Venera	224.70	108.3×10^6	35.02	126 072
Žemė	365.26	149.7×10^6	29.78	107 208
Marsas	686.97	228.1×10^6	24.08	86 688
Jupiteris	4331.57	778.7×10^6	13.07	47 052
Saturnas	10759.22	$1\,430.1 \times 10^6$	9.69	34 884
Uranas	30.799.10	$2\,876.5 \times 10^6$	6.81	24 876
Neptūnas	60190.00	$4\,506.6 \times 10^6$	5.43	19 558



10 veikla: paviršiaus gravitacinių pagreičių modelis

- Paviršinė gravitacija, $F = G M m / d^2$, with $m = 1$, $d = R$. Thus $g = G M / R^2$, where $M = 4/3 \pi R^3 \rho$
- Pakeitimas : $g = 4/3 \pi G R \rho$



10 užduotis: paviršiaus gravitacinis pagreitiskiekvienos planetos masė yra vienoda, skiriasi tik svoris (traukos jėga).

Planeta	Eqt. Radius	Tankis		Calc. acc.	Real acc.	
Merkurijus	2 439 km	5.4 g/cm ³		0.378	3.70 m/s ²	0.37
Venera	6 052 km	5.3 g/cm ³		0.894	8.87 m/s ²	0.86
Žemė	6 378 km	5.5 g/cm ³		1.000	9.80 m/s ²	1.00
Marsas	3 397 km	3.9 g/cm ³		0.379	3.71 m/s ²	0.38
Jupiteris	71 492 km	1.3 g/cm ³		2.540	23.12 m/s ²	2.36
Saturnas	60 268 km	0.7 g/cm ³		1.070	8.96 m/s ²	0.91
Uranas	25 559 km	1.2 g/cm ³		0.800	8.69 m/s ²	0.88
Neptūnas	25 269 km	1.7 g/cm ³		1.200	11.00 m/s ²	1.12
Mėnulis					1.62 m/s ²	0.16

11 veikla: „smūgio kraterių“ modelis

- Grindis uždenkite laikraščiais, kad nesusidarytų netvarka
- Negilioje dėžutėje užberkite 1 ar 2 cm miltų sluoksnį su sieteliu, kad paviršius būtų labai lygus.
- Ant miltų su sieteliu pabarstykite kelių milimetrų kakavos miltelių sluoksnį
- Iš maždaug 2 m aukščio įberkite šaukštą kakavos miltelių, kad susidarytų žymės, panašios į smūgio kraterius
- Panaudotus miltus galima panaudoti naujam eksperimentui



Veikla 12: Antrasis kosminis greitis

- $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} mv^2$
- $E_{\text{pot}} = -GM_{\text{planet}}m/R_{\text{planet}}$
- $E_{\text{mec}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = 0$
- $g_{\text{planet}} = GM_{\text{planet}}/R_{\text{planet}}^2$

Tada: $-GM_{\text{planet}}m/R_{\text{planet}} + \frac{1}{2} mv^2 = 0$

$$\frac{1}{2} mv^2 = g_{\text{planet}}mR_{\text{planet}}$$

rezultatai:

$$v = (2gR)^{1/2}$$

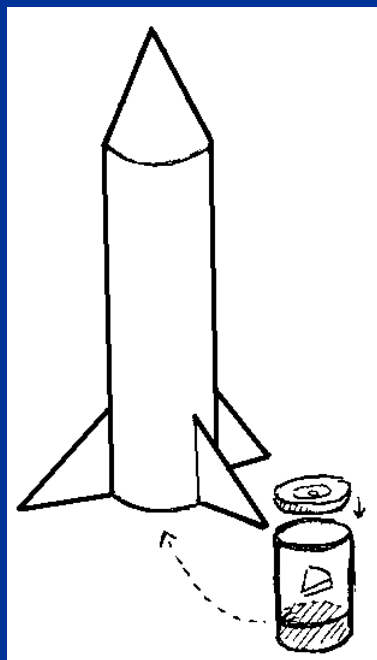


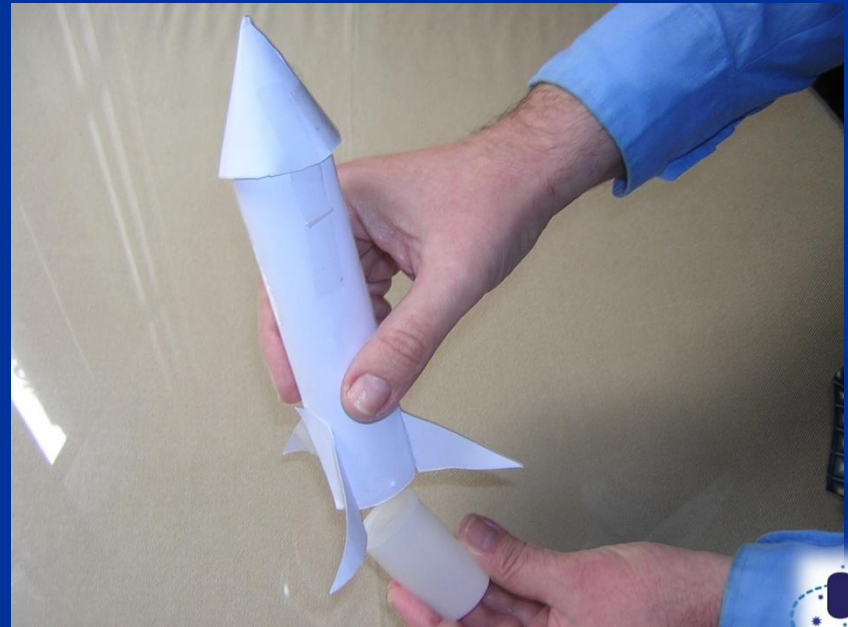
Veikla 12: Antrasis kosminis greitis

Planeta	Ekvatorinis spindulys	$g_{\text{Planet}}/g_{\text{Earth}}$		Antarsis kosminis greitis
Merkurijus	2 439 km	0.378		4.3 km/s
Venera	6 052 km	0.894		10.3 km/s
Žemė	6 378 km	1.000		11.2 km/s
Marsas	3 397 km	0.379		5.0 km/s
Jupiteris	71 492 km	2.540		59.5 km/s
Saturnas	60 268 km	1.070		35.6 km/s
Uranas	25 559 km	0.800		21.2 km/s
Neptūnas	25 269 km	1.200		23.6 km/s

12 veikla: Raketos paleidimas

- Kartonas
- Juostelės konteineris
- $\frac{1}{4}$ Šnypščiosios tabletės

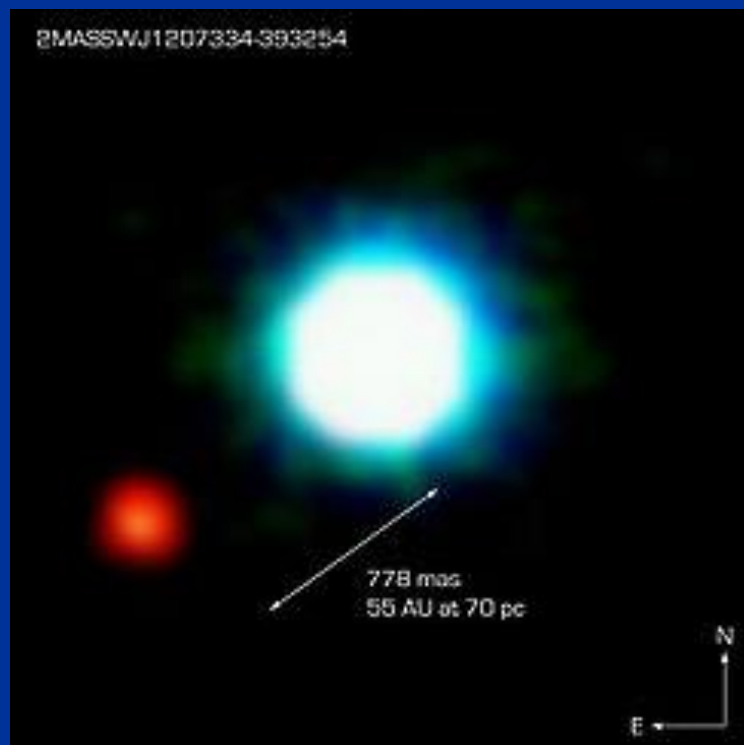




Planetų sistemos už Saulės sistemos ribų



1995 m. Michaelas Mayoras ir Didier Quelozas paskelbė aptikę egzoplanetą, skriejančią aplink 51 Pegasį.



Pirmasis
egzoplanetos
atvaizdas 2003 m.
kovo 16 d.

2M1207b directly imaged (ESO)



Esame priklausomi nuo technologijos



1610 m. Galilėjus savo teleskopu pirmą kartą stebėjo Saturną. Jis nepastebėjo plono žiedo, bet interpretavo jį kaip žvaigždę su trimis kūnais. Teko laukti, kol Huigensas (1659 m.), turėdamas geresnį teleskopą, išpranašavo žiedą. Dėl šios priežasties Rubenso paveiksle (1636-1638 m.) Saturnas simbolizuojamas su trimis objektais pagal Galilėjaus atradimą.

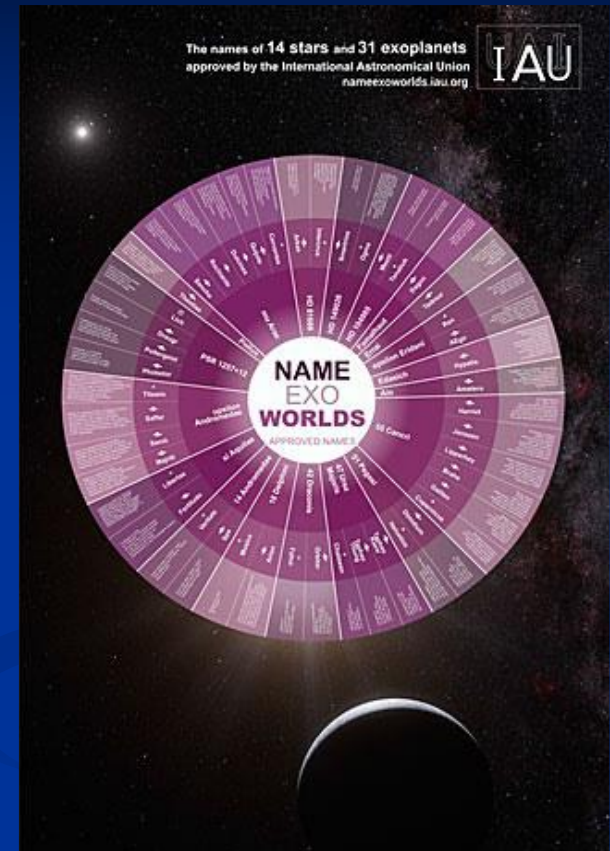


Egzoplanetų pavadinimai

Po centrinės žvaigždės pavadinimo rašoma raidė, prasidedanti „b“, jei tai pirmoji sistemoje rasta planeta. (pvz., 51 Pegasi b).

Kita planeta pavadinama kita abėcėlės raide c, d, e, f ir t. t.

(51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e or 51 Pegasi f).



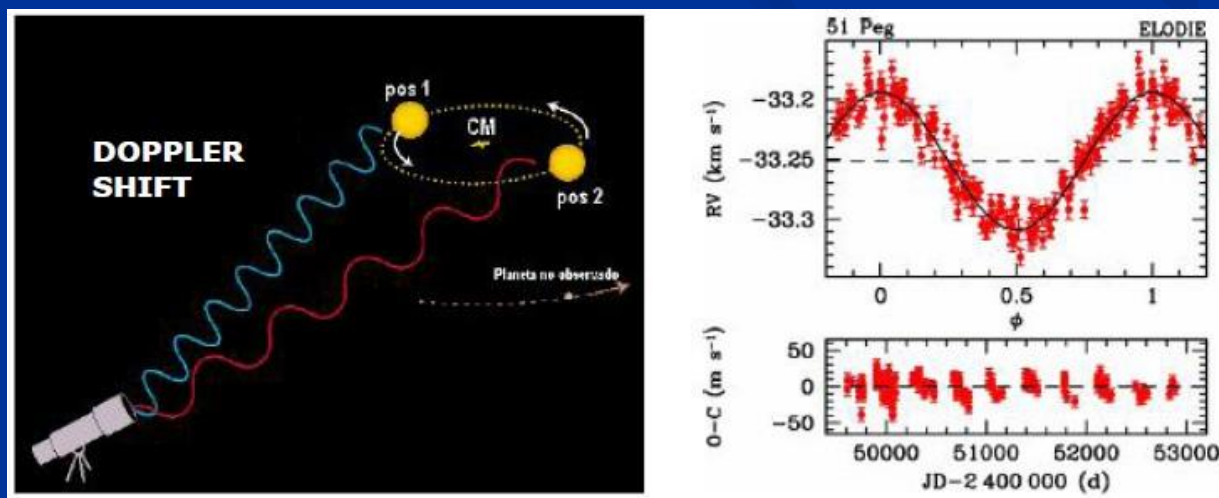
Egzoplanetų aptikimo metodai

Naudojama daug metodų:

- Radialinis greitis ir Doplerio efektas
- Tranzito metodas
- Mikrolėšis
- Kiti

Aptikimo metodas: Radialinis greitis

Žvaigždės radialinio greičio kitimas skriejant aplink planetos ir žvaigždės sistemos baricentrą matuojamas naudojant Doplerio efektą. Būtent šiuo metodu buvo aptikta pirmoji 51 Pegaso b egzoplaneta.

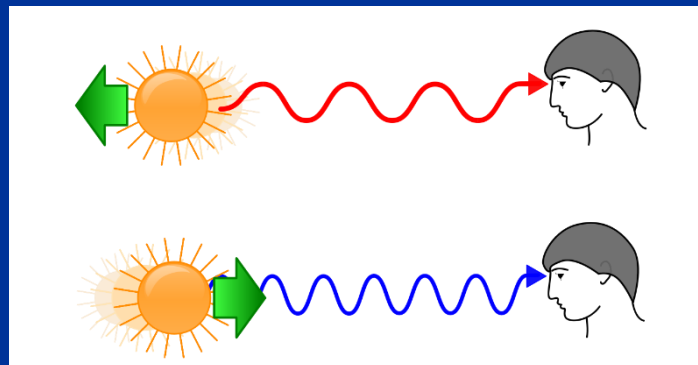


13 veikla: Dopplerio efektas

Doplerio efektas - tai šviesos bangos ilgio pokytis, kai šaltinis juda.

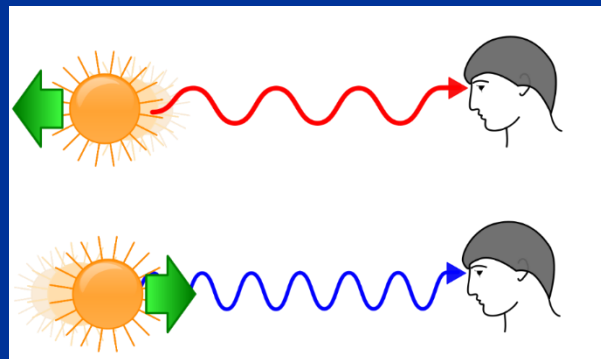
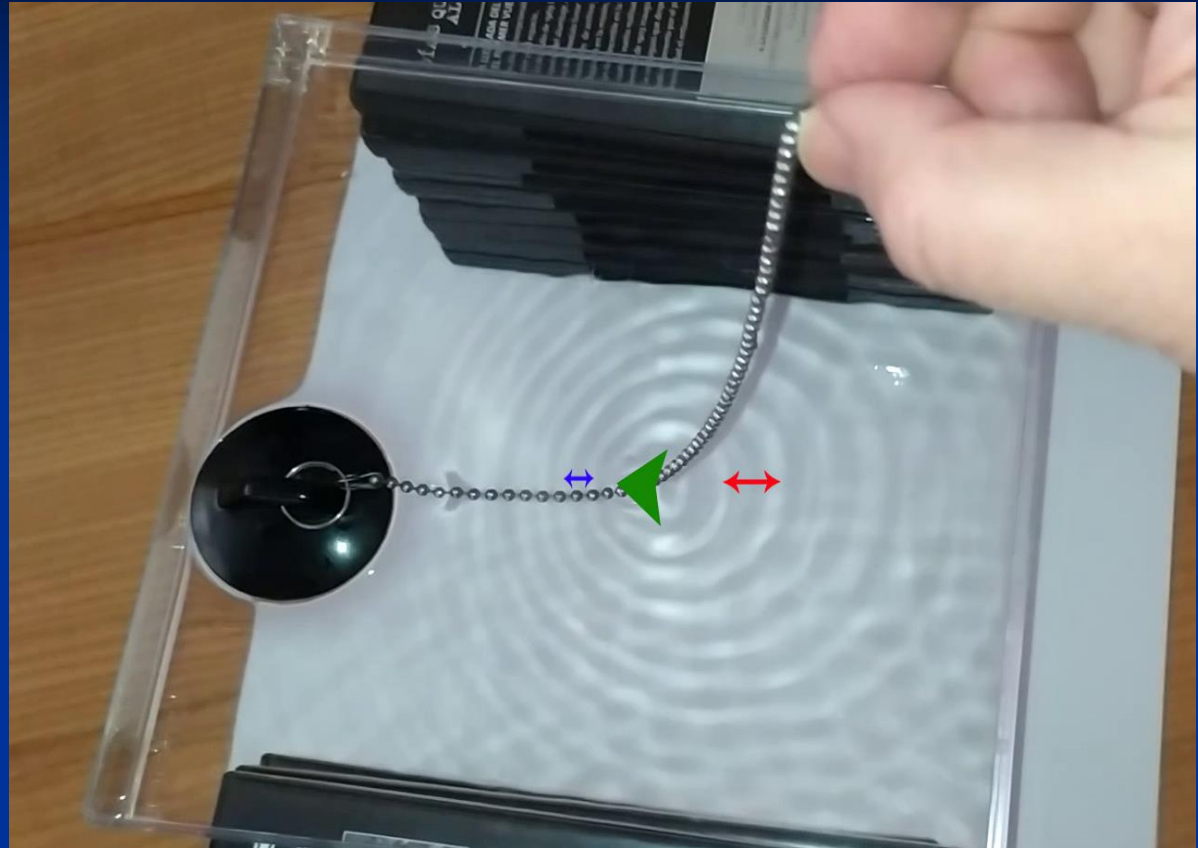
Kai šaltinis priartėja, bangos ilgis sutrumpėja, o stebima šviesa pereina į mėlynąją regimojo spektro dalį.

Kai jis tolsta, bangos ilgis ilgėja, o stebima šviesa pereina į raudonąją regimojo spektro dalį.



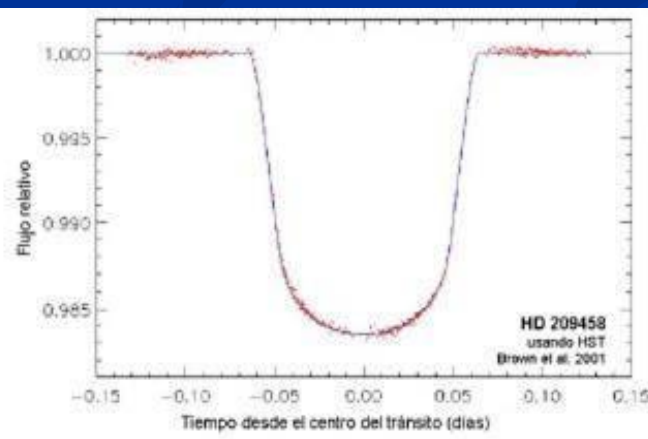
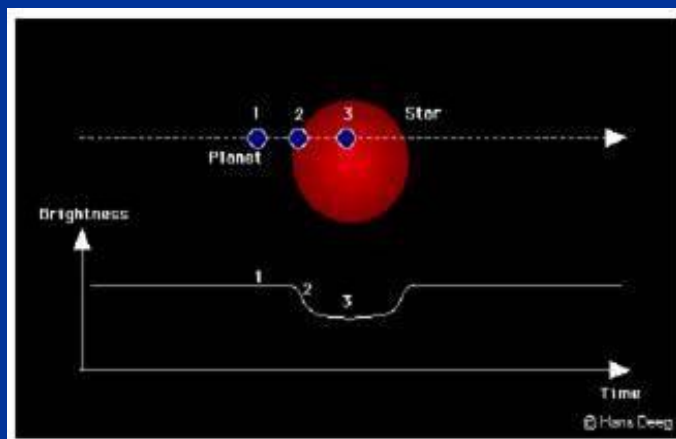
13 veikla: Dopplerio efektas

Jis buvo atkurtas naudojant kibirą vandens, dangtelį su grandine ir mobiliąją blykstę.



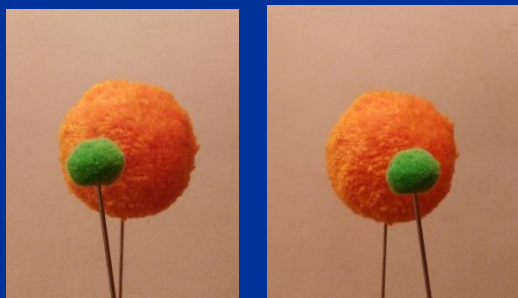
Aptikimo metodas: Tranzitai

Egzoplanetos tranzito metu žvaigždės ryškis šiek tiek sumažėja. Saulės tipo žvaigždžių ir Jupiterio dydžio planetų ryškis sumažėja maždaug 1 %, o Žemės dydžio planetų - apie 0,03 %.

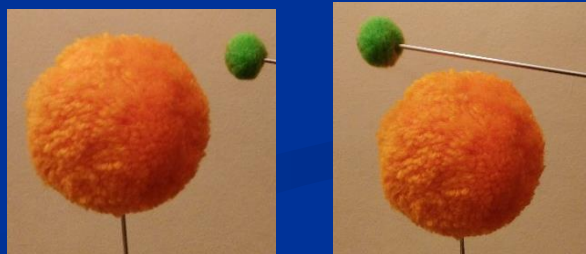


14 veikla: Tranzito modeliavimas

Naudokite du kamuoliukus: vieną didelį - žvaigždei, kitą mažą - aplink žvaigždę skriejančiai egzoplanetai. Stebėtojai esant toje pačioje orbitos plokštumoje ir stebint iš tos vietos, pamatysite, kaip egzoplaneta praskrieja priešais žvaigždę, o žvaigždės ryškis mažėja. Tačiau jei stebėtojas yra ne toje pačioje orbitos plokštumoje, ryškumo kreivės pokyčių nepastebėsime.



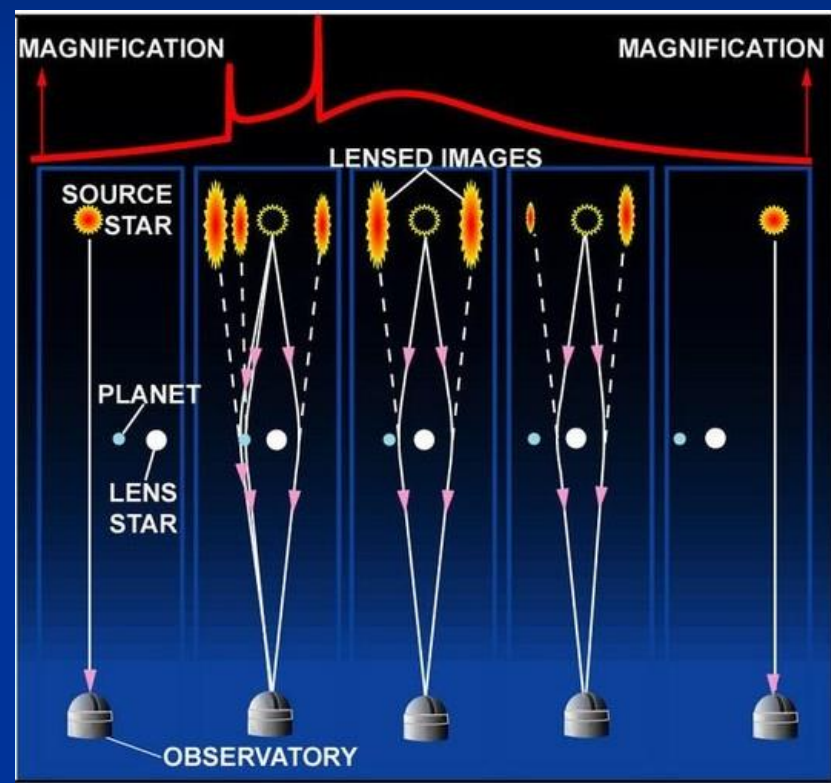
Stebėtojas orbitos plokštumoje



Stebėtojas už orbitos plokštumos ribų

Aptikimo metodas: Mikroobjektyvas

Žvaigždės ir planetos sistemą išryškina padidėjimas arba iškraipymas, atsirandantis dėl to, kad sistema yra vienoje linijoje su žvaigžde arba objektu, kuris yra gravitacinis lęšis.



Trys kūnai (Žemė, objektas-objektyvas ir žvaigždė-egzoplaneta) turi būti visiškai vizualiai suderinti.

15 veikla: Mikrolęšių modeliavimas

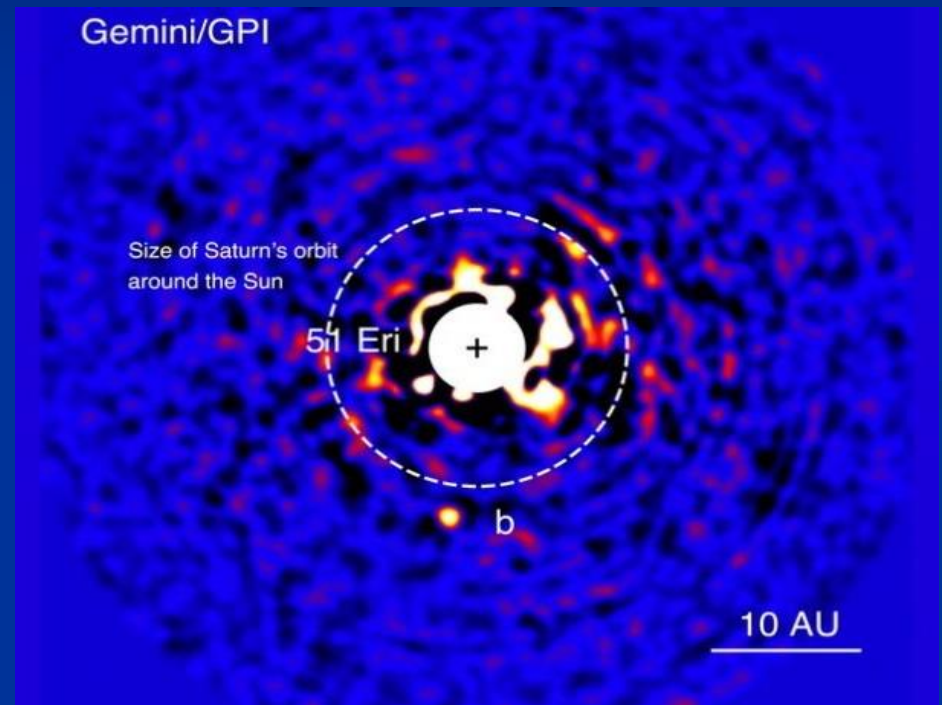


Naudojant tik vieną vyno taurės kojelę, nieko nesimato.

Su dviem vyno taurės kojelėmis tada perbraukiame vieną per kitą ir išryškėja taškas, o paskui net du.

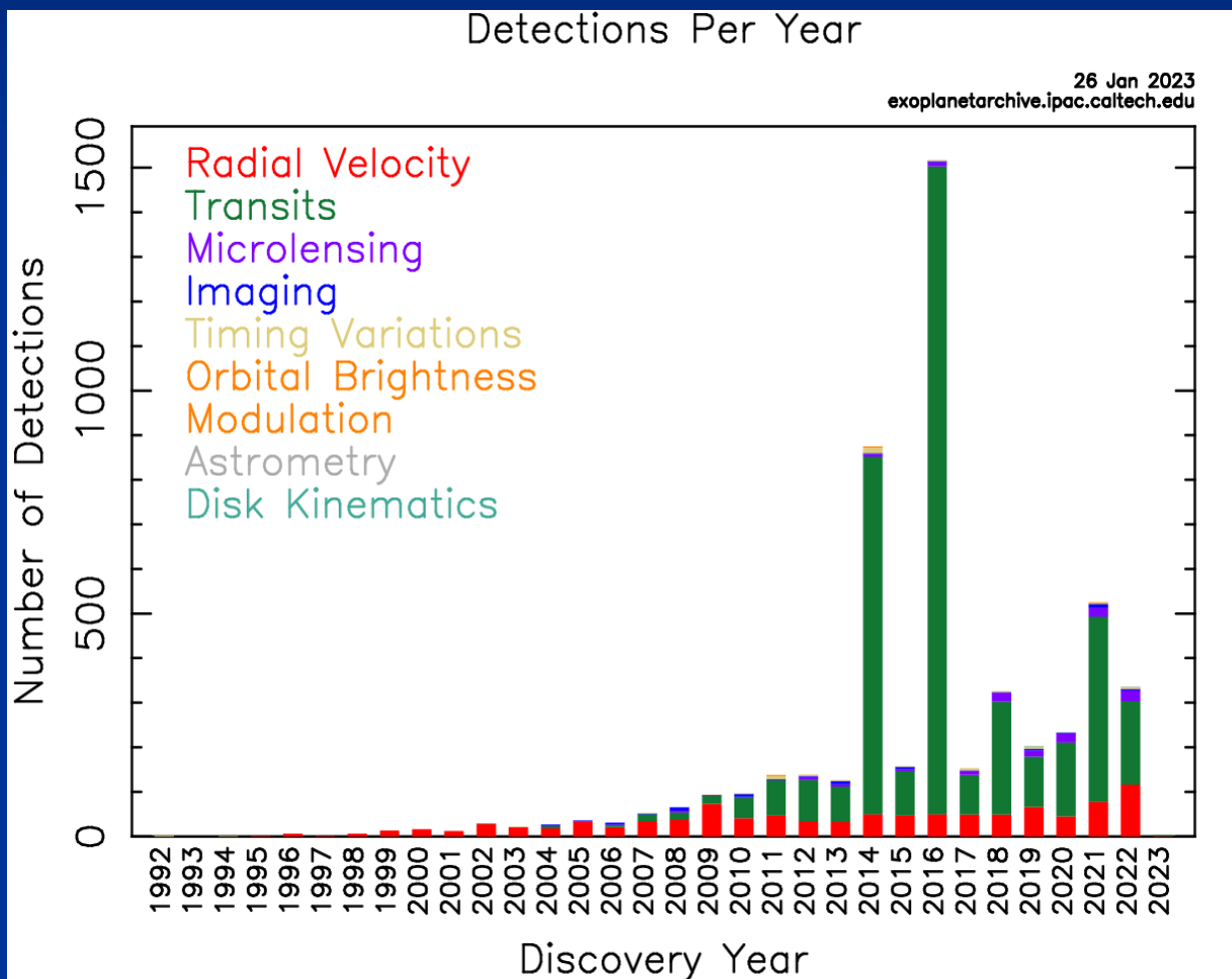
Aptikimo metodas: Tiesioginis

Žvaigždės vaizdas yra
tiriamas siekiant
nustatyti aplink ją
esančias
egzoplanetas.



Dėl žvaigždės skleidžiamos šviesos kiekio tai
nėra lengva atlikti.

2023 žinomos egzoplanetos pagal skirtingus aptikimo metodus

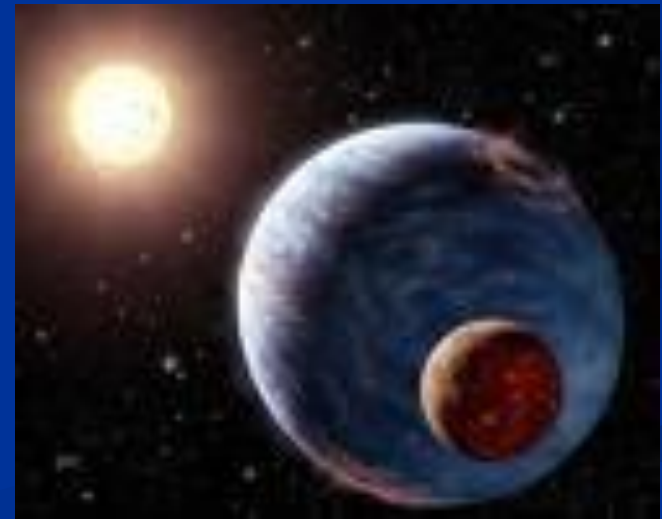


Egzoplanetų sistemų modeliai

Iki šiol atrasta beveik 4 000 planetinių sistemų ir daugiau kaip 5 300 egzoplanetų, o beveik 10 000 stebėjimų metu nustatyta, kad tai gali būti planetos.

Reaktyvinių variklių laboratorija (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

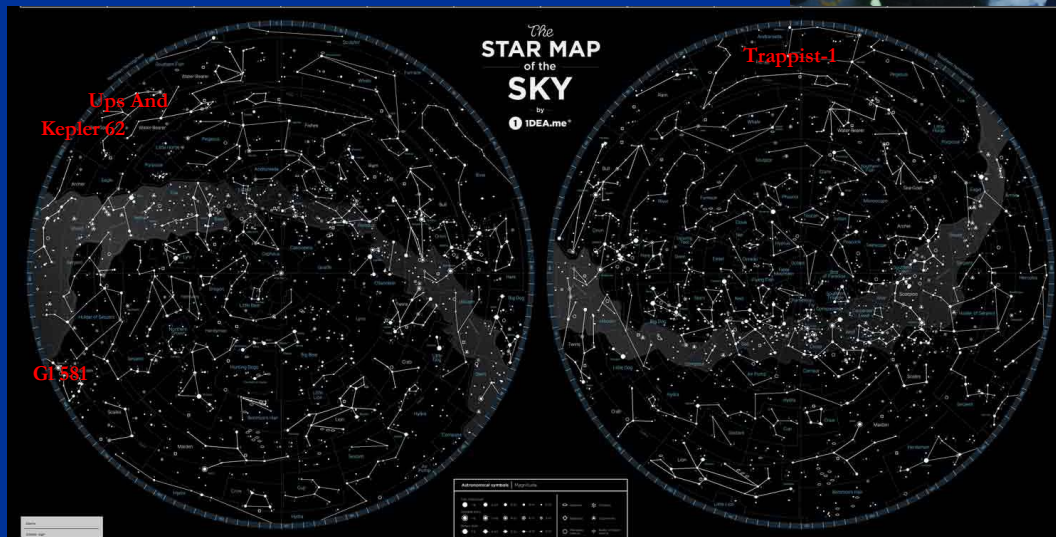
Masės lyginamos su Jupiterio (1.9×10^{27} kg) ar Žemės (5.97×10^{24} kg).



Priežastis - technologiniai apribojimai.



16 veikla: egzoplanetinių sistemų masteliniai modeliai



Atstumas $1 \text{ AU} = 1 \text{ m}$
Skersmuo $10000 \text{ km} = 0.5 \text{ cm}$

16 veikla: Saulės sistemos kūrimas:

Saulės	Atstumas AV	Diameteras km	Modeliuoja mas astrumas	Modeliuoja mas Diameteras
Merkurijus	0.39	4879	40 cm	0.2 cm
Venera	0.72	12104	70 cm	0.6 cm
Žemė	1	12756	1m	0.6 cm
Marsas	1.52	6794	1.5 m	0.3 cm
Jupiteris	5.2	142984	5 m	7 cm
Saturnas	9.55	120536	10 m	6 cm
Uranas	19.22	51118	19 m	2.5 cm
Neptūnas	30.11	49528	30 m	2.5 cm

Žvaigždė šeimininkė Saulė G2V, Saulės skersmuo modelyje - 35 cm

Atstumas 1 AV = 1 m

Skersmuo 10000 km = 0,5 cm



16 veikla: Sukurkite 1-ąją egzoplanetinę sistemą

Upsilon Andromedae Titawin	Atradimo metai	Atstumas AV	Diameter as km	Modelio atstumas	Modelio diametra s
Ups And b/Saffar	1996	0.059	108 000	6 cm	5.5 cm
Ups And c/Samh	1999	0.830	200 000	83 cm	10 cm
Ups And d/Majriti	1999	2.510	188 000	2.5 m	9 cm
Ups And e/Titawin e	2010	5.240	140 000	5.2 m	7 cm

Priimančioji žvaigždė Upsilon Andromedae F8V yra 44 š.m.
And., Saulės skersmuo 1.28 modelyje yra 45 cm

Atstumas 1 AV = 1 m

Skersmuo 10000 km = 0,5 cm



16 veikla: Sukurkite „sausumos“ planetas

Gliese 581	Atradimo meto	Distancija AV	Diametras km	Modelio atstumas	Modelio diametras
Gl.581 e	2009	0.030	15 200	3 cm	0.8 cm
Gl.581 b	2005	0.041	32 000	4 cm	1.6 cm
Gl.581 c	2007	0.073	22 000	7 cm	1.1 cm

Priimančioji žvaigždė Gliese 581 M2,5V yra 20,5 š.m.
Svarstyklėse, 0,29 Saulės skersmuo modelyje yra 10 cm

Atstumas 1 AV = 1 m

Skersmuo 10000 km = 0,5 cm



16 veikla: „Gyvenamų žemiškųjų“ planetų kūrimas

Kepler 62	Atradimo metai	Atstumas AV	Diametras km	Modelio atstumas	Modelio Diametras
Kepler-62 b	2013	0.056	33 600	5.6 cm	1.7 cm
Kepler-62 c	2013	0.093	13 600	9 cm	0.7 cm
Kepler-62 d	2013	0.120	48 000	12 cm	2.4 cm
Kepler-62 e	2013	0.427	40 000	43 cm	2 cm
Kepler-62 f	2013	0.718	36 000	72 cm	1.8 cm

Žvaigždė šeimininkė Kepler 62 K2V yra 1200 š.m. Lyro,
0,64 Saulės skersmuo modelyje yra 22 cm

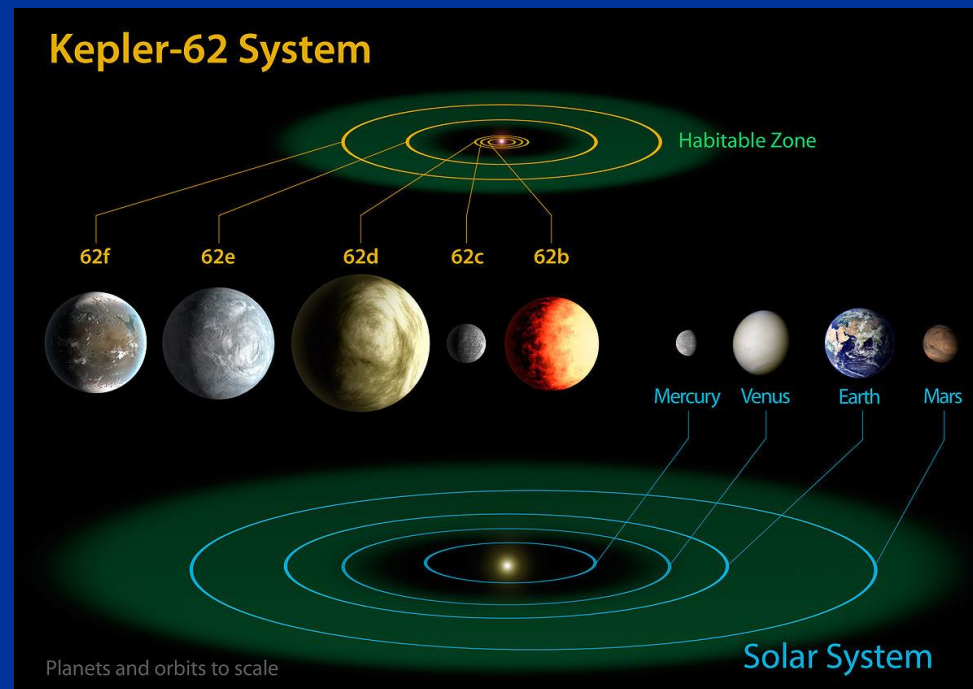
Atstumas 1 AV = 1 m

Skersmuo 10000 km = 0,5 cm



Galimas egzoplanetų gyvenamumas

- „Kepler-62“ gyvenamojoje zonoje: dviejų egzoplanetų paviršiuje gali būti skysto vandens. Kepler-62e, kuri yra netoli gyvenamosios zonos vidinės dalies, tam reikėtų, kad ją dengtų atspindintys debesys, mažinantys paviršių šildančią spinduliuotę. Kita vertus, „Kepler-62f“ yra išorinėje gyvenamosios zonos dalyje.



16 veikla: „Gyvenamų žemiškųjų“ planetų kūrimas

Trappist-1	Atradimas metai	Atstumas AV	Diameteras km	Modelio atstumas	Modelio Diametras
Trappist-1 b	2016	0.012	28 400	1.2 cm	1.4 cm
Trappist-1 c	2016	0.016	28 000	1.6 cm	1.4 cm
Trappist-1 d	2016	0.022	20 000	2.2 cm	1.0 cm
Trappist-1 e	2017	0.030	23 200	3.0 cm	1.2 cm
Trappist-1 f	2017	0.039	26 800	3.9 cm	1.3 cm
Trappist-1 g	2017	0.047	29 200	4.7 cm	1.5 cm
Trappist-1 h	2017	0.062	19 600	6.2 cm	1.0 cm

Žvaigždė šeimininkė Trappist 1 M8V yra 40 š.m. atstumu
Acuarius, Saulės 0,1 skersmuo modelyje yra 4 cm

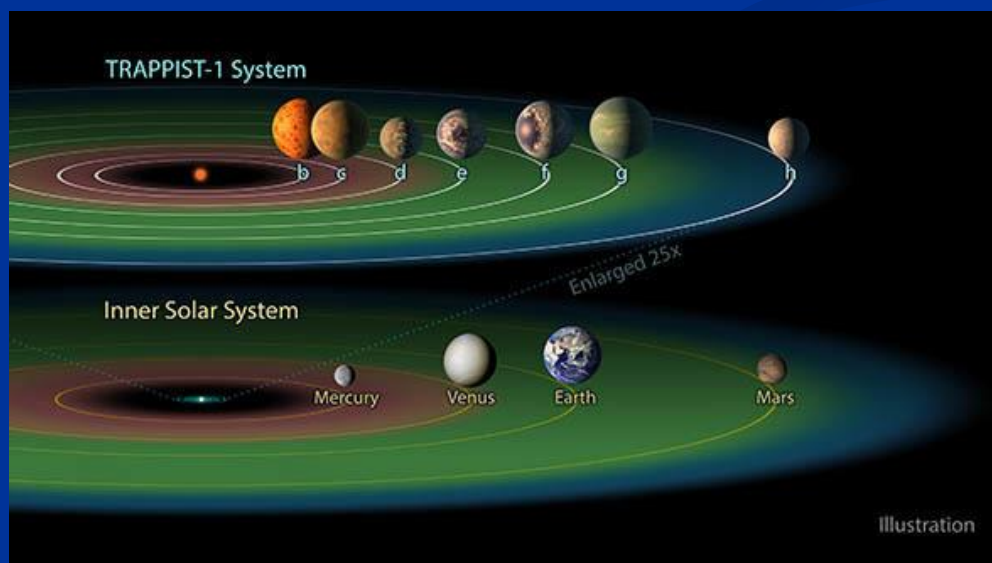
Atstumas 1 AV = 1 m

Skersmuo 10000 km = 0,5 cm



Galimas egzoplanetų gyvenamumas

- Trappist-1 sistemos planetos yra uolėtos ir jų paviršiuje gali būti daug vandens - skysto, garų pavidalo arba kaip ledo pluta. Trappist-1 gyvenamojoje zonoje yra Trappist-1e, kurios branduolys yra tankus, panašus į Žemės, o tai rodo, kad iš visų šios sistemos planetų ši yra panašiausia į Žemę ir greičiausiai turi apsauginę magnetosferą.



Išvados

- Žinios yra labiau „bendrosios“ apie planetas
- Ryšiai leidžia nustatyti „parametrus“, kurie leidžia geriau suprasti matmenis
- Saulės sistema „yra tuščia“
- Egzoplanetų pristatymas.
- Atpažinti aptikimo metodus.



Ačiū

