

Planete și exoplanete

Rosa M. Ros, Hans Deeg

*Uniunea Astronomică Internațională
Universitatea Tehnică a Cataloniei, Spania
Institutul de Astrofizică din Canare, Spania*



Obiective

- Înțelegerea semnificației valorilor numerice găsite în tabelele cu date pentru planetele din Sistemul Solar
- Înțelegerea principalelor caracteristici ale sistemelor planetare extrasolare



Sistemul Solar

Căutăm modele care ne oferă în primul rând informații, nu ne rezumăm la aspectul estetic și realizare.










În ceea ce privește conținutul

Vrem modele cu
conținut științific și
care ne dau informații
concrete



Activitatea 1: Distanțele până la Soare

Mercur	57 900 000 km		6 cm	0,4 UA
Venus	108 300 000 km		11 cm	0,7 UA
Pământ	149 700 000 km		15 cm	1,0 UA
Marte	228 100 000 km		23 cm	1,5 UA
Jupiter	778 700 000 km		78 cm	5,2 UA
Saturn	1 430 100 000 km		143 cm	9,6 UA
Uranus	2 876 500 000 km		288 cm	19,2 UA
Neptun	4 506 600 000 km		450 cm	30,1 UA



Modelul cu diametre

Soare	1 392 000 km		139.0 cm
Mercur	4 878 km		0.5 cm
Venus	12 180 km		1.2 cm
Pământ	12 756 km		1.3 cm
Marte	6 760 km		0.7 cm
Jupiter	142 800 km		14.3 cm
Saturn	120 000 km		12.0 cm
Uranus	50 000 km		5.0 cm
Neptun	45 000 km		4.5 cm

Activitatea 2: Modelul cu diametre



Tricouri cu diametrele
planetelor la scară



Activitatea 3: Diametrele planetelor și distanțele până la Soare

Soare	1 392 000 km			25,0cm	
Mercur	4 878 km	57 900 000 km		0,1cm	10 m
Venus	12 180 km	108 300 000 km		0,2 cm	19 m
Pământ	12 756 km	149 700 000 km		0,2 cm	27 m
Marte	6 760 km	228 100 000 km		0,1 cm	41 m
Jupiter	142 800 km	778 700 000 km		2,5 cm	140 m
Saturn	120 000 km	1 430 100 000 km		2,0 cm	250 m
Uranus	50 000 km	2 876 500 000 km		1,0 cm	500 m
Neptun	45 000 km	4 506 600 000 km		1,0 cm	800 m

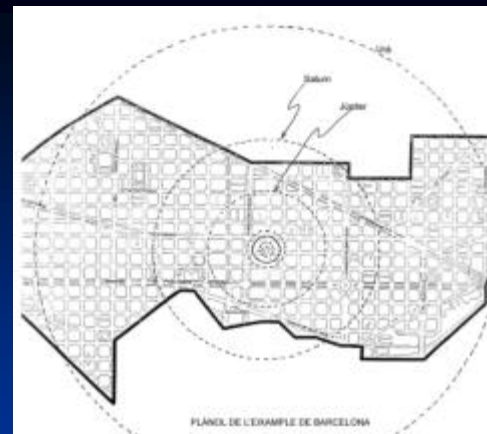
De obicei, dimensiunea curții unei școli
ajunge pentru a situa planetele până la Marte



Activitatea 3: Model cu diametrele și distanțele pe terenul de joacă...



Activitatea 4: Modelul în oraș (Barcelona)



Soare	Mașina de spălat	<i>Puerta Instituto</i>
Mercur	icre	<i>Puerta Hotel Diplomatic</i>
Venus	mazăre	<i>Pasaje Méndez Vigo</i>
Pământ	mazăre	<i>Entre Méndez Vigo y Bruc</i>
Marte	piper	<i>Paseo de Gracia</i>
Jupiter	portocală	<i>Calle Balmes</i>
Saturn	mandarină	<i>Pasaje Valeri Serra</i>
Uranus	nucă	<i>Calle Entenza</i>
Neptun	nucă	<i>Estación de San</i>

Model în orașul Metz (Franța)



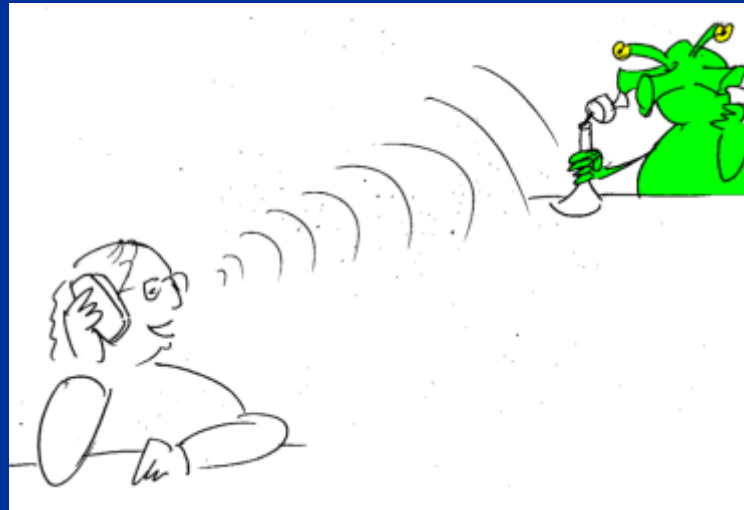
Activitatea 5: Modelul timpilor

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

Timpul necesar luminii pentru a parcurge distanța de la Pământ la Lună este:

$$t = \text{distanța PL} / c = 384\,000 \text{ km} / 300.000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} = 1,3 \text{ s}$$

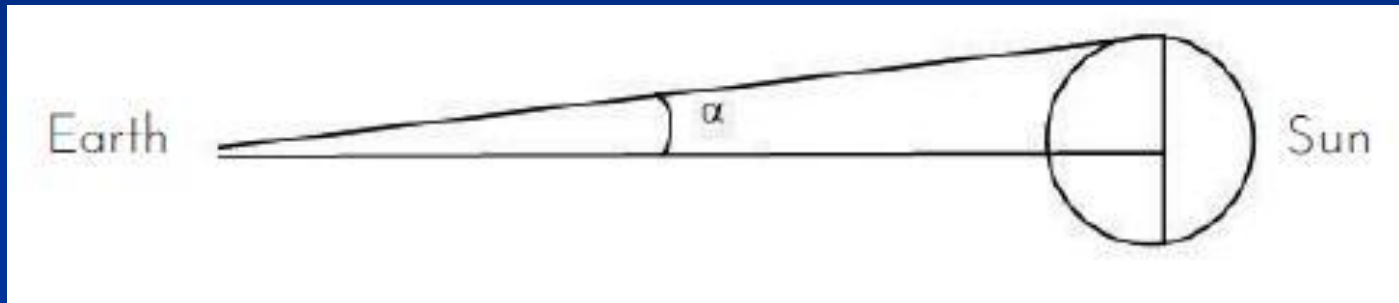
Cum ar fi o
conversație
între planete
prin "video"?



Timpu necesar luminii pentru a ajunge de la Soare la...

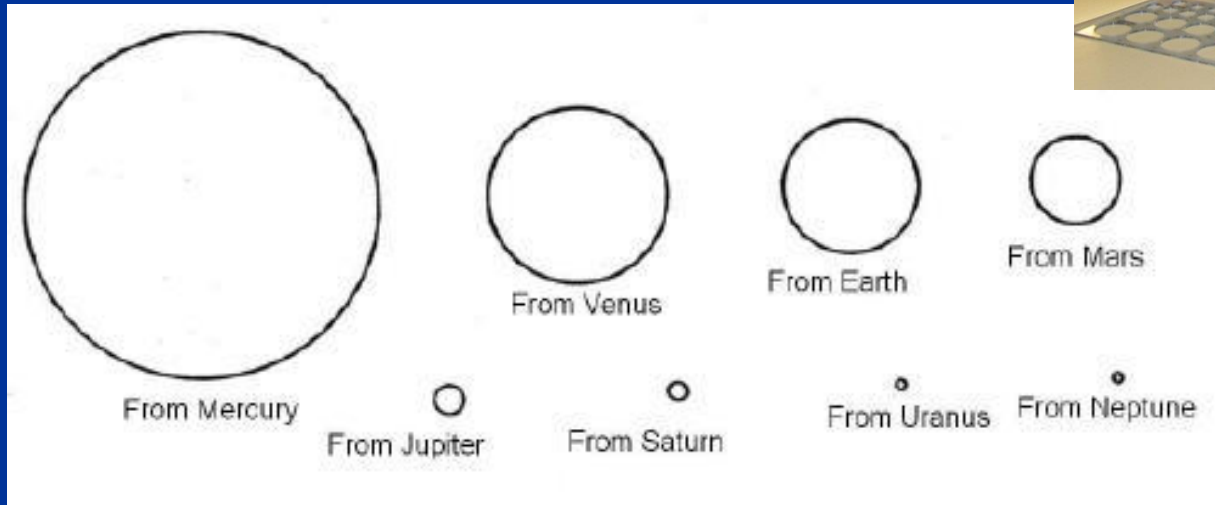
Mercur	57 900 000 km		3,3 minute
Venus	108 300 000 km		6,0 minute
Pământ	149 700 000 km		8,3 minute
Marte	228 100 000 km		12,7 minute
Jupiter	778 700 000 km		43,2 minute
Saturn	1 430 100 000 km		1,32 ore
Uranus	2 876 500 000 km		2,66 ore
Neptun	4 506 600 000 km		4,16 ore

Soarele, așa cum se vede de pe planete











- $\alpha = \tan \alpha = \text{Raza Soarelui} / \text{distanța la Soare} = 700\,000 / 150\,000\,000 = 0,0045 \text{ radian} = 0,255^\circ$
- De pe Pământ, Soarele măsoară $2\alpha = 0,51^\circ$

Activitatea 6: Soarele, așa cum se vede de pe planete



Activitatea 7: Modelul densităților planetelor

Mercur	5,41 g/cm³		Pirită (5,2)
Venus	5,25 g/cm³		Pirită (5,2)
Pământ	5,52 g/cm³		Pirită (5,2)
Marte	3,90 g/cm³		Blendă (4,0)
Jupiter	1,33 g/cm³		Sulf (1,1-2,2)
Saturn	0,71 g/cm³		Lemn de pin (0,55)
Uranus	1,30 g/cm³		Sulf (1,1-2,2)
Neptun	1,70 g/cm³		Argilă (1,8-2,5)



Activitatea 8: Modelul aplatizării

- Tăiați fâșii de hârtie de 35x1 cm.
- Le atașați de un băț cilindric de 50 cm lungime și 1 cm diametru, lăsând capătul inferior liber, astfel încât să permită deplasarea lui de-a lungul bățului.
- Rotiți rapid bățul între mâini într-un sens și în celălalt. Forța centrifugă deformează benzile de hârtie, așa cum deformează planetele.



Aplatizarea

Planete	(raza ecuatorială-raza polară)/ raza ecuatorială
Mercury	0,0
Venus	0,0
Pământ	0,0034
Marte	0,005
Jupiter	0,064
Saturn	0,108
Uranus	0,03
Neptun	0,03



Activitatea 9: Modelul perioadelor orbitale

- Legați un corp greu la capătul unei sfori și țineți sfoara de la celălalt capăt. Rotiți sfoara deasupra capului.
- Pe măsură ce eliberați mai mult sfoara, trebuie un timp mai lung pentru a încheia o perioadă orbitală
- Dacă scurtați lungimea sforii, va trebui mai puțin timp



Activitatea 9: Datele mișcării Pământului pe orbită

Viteza orbitală medie $v = 2\pi R/T$

Pentru Pământ

$$v = 2\pi \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ km} / 365 \text{ zile}$$

$$v = 2\,582\,100 \text{ km/zi} = 107\,590 \text{ km/h} = 29,9 \text{ km/s}$$

(Viteza orbitală medie a Soarelui în jurul centrului galactic este de 220 km/s sau 800 000 km/h.)



Activitatea 9: Valori orbitale pentru planete

Planeta	Perioada orbitală (zile)	Distanța față de Soare (km)	Viteza orbitală medie (km/s)	Viteza orbitală medie (km/h)
Mercur	87,97	57,9 10^6	47,90	172440
Venus	224,70	108,3 10^6	35,02	126072
Pământ	365,26	149,7 10^6	29,78	107208
Marte	686,97	228,1 10^6	24,08	86688
Jupiter	4331,57	778,7 10^6	13,07	47052
Saturn	10759,22	1 430,1 10^6	9,69	34884
Uranus	30.799,10	2 876,5 10^6	6,81	24876
Neptun	60190,00	4 506,6 10^6	5,43	19558












Activitatea 10: Model pentru accelerația gravitațională la suprafața planetelor

- Forța de atracție la suprafață: $F = GM m/d^2$, cu $d = R$. Atunci $g = GM/R^2$, unde $M = 4/3 \pi R^3 \rho$
- Prin înlocuire: $g = 4/3 \pi G R \rho$



Activitatea 10: Accelerația gravitațională la suprafața planetelor

Planeta	Raza ecuatorială	Densitate		Accelerația calc.	Accelerația reală	
Mercur	2439 km	5,4 g/cm ³		0,378	3,70 m/s ²	0,37
Venus	6052 km	5,3 g/cm ³		0,894	8,87 m/s ²	0,86
Pământ	6378 km	5,5 g/cm ³		1,000	9,80 m/s ²	1,00
Marte	3397 km	3,9 g/cm ³		0,379	3,71 m/s ²	0,38
Jupiter	71492 km	1,3 g/cm ³		2,540	23,12 m/s ²	2,36
Saturn	60268 km	0,7 g/cm ³		1,070	8,96 m/s ²	0,91
Uranus	25559 km	1,2 g/cm ³		0,800	8,69 m/s ²	0,88
Neptun	25269 km	1,7 g/cm ³		1,200	11,00 m/s ²	1,12
Luna					1,62 m/s ²	0,16

Activitatea 11: Model pentru "cratere de impact"

- Acoperiți podeaua cu ziare, pentru a preveni murdărirea ei.
- Într-o tavă, presărați cu o sită un strat de 1 ÷ 2 cm grosime de făină; realizați o suprafață plană, netedă
- Presărați cu o sită un strat de câțiva milimetri grosime de pudră de cacao peste făină
- De la aproximativ 2 m înălțime, lăsați să cadă o lingură de pudră de cacao pentru a crea urme, ca și cratere de impact
- Făina folosită poate fi păstrată pentru un nou experiment



Activitatea 12: Viteza de evadare

- $E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} mv^2$

- $E_{\text{pot}} = -GM_{\text{Planetă}} m/R_{\text{Planetă}}$

- $E_{\text{mec}} = E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}} = 0$

- $g_{\text{Planetă}} = GM_{\text{Planetă}}/R_{\text{planetă}}^2$

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

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

rezultă viteza de evadare:

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

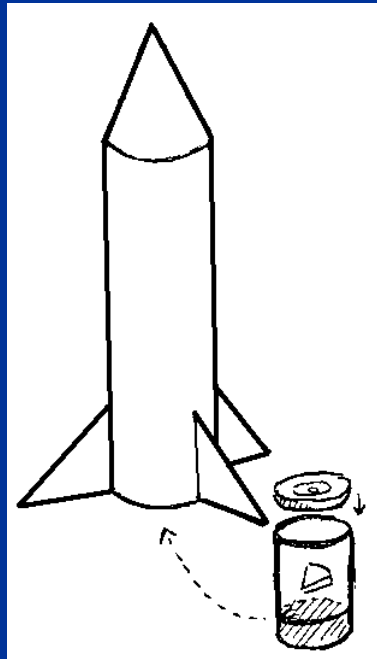


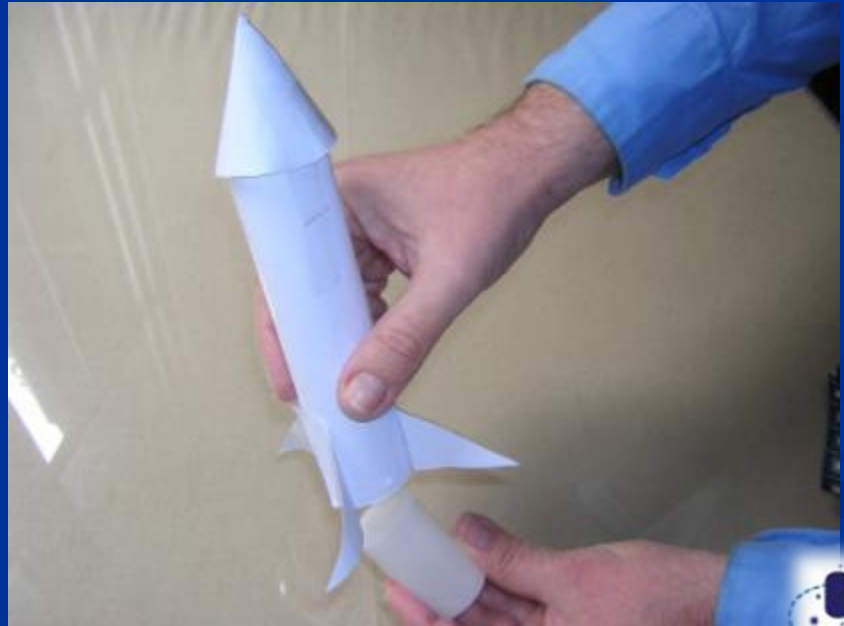
Activitatea 12: Viteza de evadare

Planeta	Raza ecuatorială	$\frac{g_{\text{Planeta}}}{g_{\text{Pământ}}}$		Viteza de evadare
Mercur	2 439 km	0,378		4,3 km/s
Venus	6 052 km	0,894		10,3 km/s
Pământ	6 378 km	1,000		11,2 km/s
Marte	3 397 km	0,379		5,0 km/s
Jupiter	71 492 km	2,540		59,5 km/s
Saturn	60 268 km	1,070		35,6 km/s
Uranus	25 559 km	0,800		21,2 km/s
Neptun	25 269 km	1,200		23,6 km/s

Ativitatea 12: Lansare de rachete

- carton
- cutiuță de plastic
- $\frac{1}{4}$ aspirină efervescentă





Sisteme planetare extrasolare



În anul 1995 Michael și Didier Queloz au anunțat detectarea unei exoplanete orbitând pe 51 Pegasi.



2M1207b - imagine directă (ESO)

Prima imagine a unei
exoplanete
16 martie 2003



Depindem de tehnologie

În 1610, Galilei a observat cu telescopul său pentru prima dată pe Saturn. El nu a văzut un inel frumos, ci a interpretat ansamblul ca o stea compusă din trei corpuri. A trebuit să-l așteptăm pe Huygens (1659), care a făcut observații cu un telescop mai bun și astfel s-a descoperit inelul. Din acest motiv, tabloul lui Rubens (1636-1638) îl simbolizează pe Saturn compus din trei obiecte, în conformitate cu descoperirea lui Galilei.



Denumiri pentru exoplanete

Se pune o literă după numele stelei centrale, începând cu "b" pentru prima planetă găsită în sistem.
(de exemplu: 51 Pegasi b)



Planeta următoare este denumită cu următoarea literă din alfabet c, d, e, f, etc.

(51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e sau 51 Pegasi f)



Metode de detectarea a exoplanetelor

Sunt utilizate multe metode:

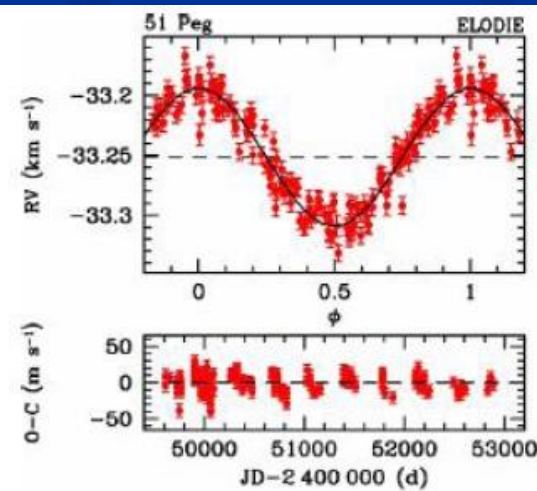
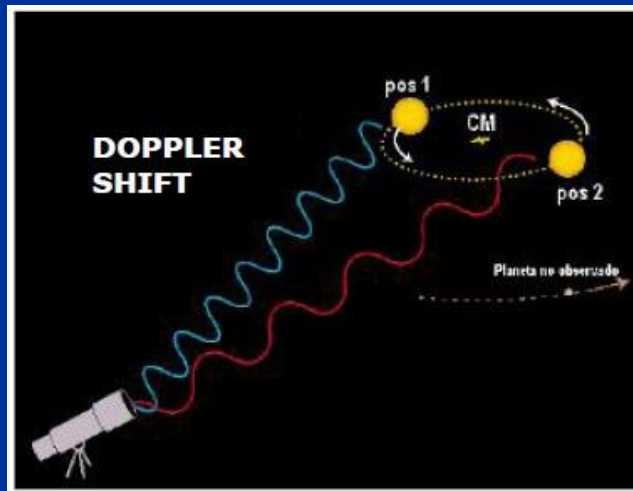
- ❖ Viteza radială și Efectul Doppler
- ❖ Metoda tranzitului
- ❖ Metoda microlentilelor gravitaționale
- ❖ Altele



Metoda de detecție: Viteza radială

Este măsurată variația vitezei radiale a stelei când aceasta orbitează centrul de masă al planetei și sistemului stelar, folosind efectul Doppler.

Cu această metodă s-a detectat prima exoplanetă 51 Pegasus b.

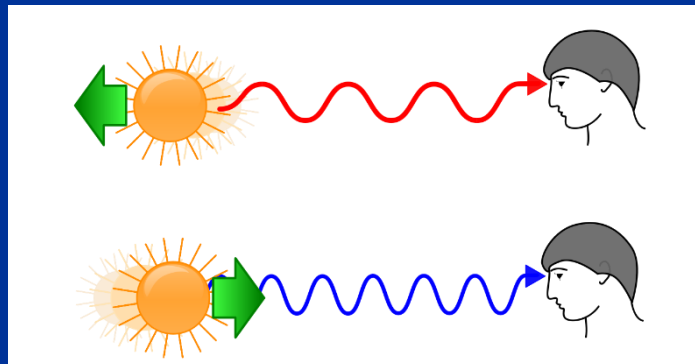


Activitatea 13: Efectul Doppler

Efectul Doppler constă în recepționarea unei unde cu o lungime de undă diferită față de cea a undei emise, dacă sursa luminoasă este în mișcare față de observator.

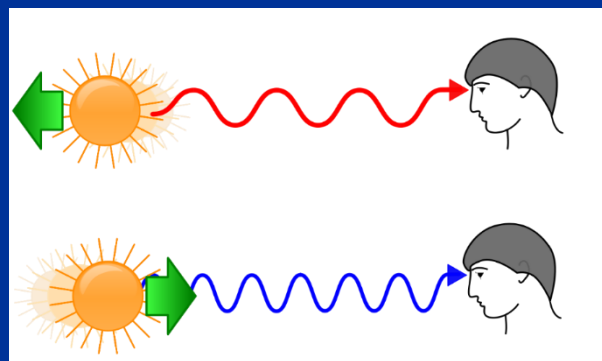
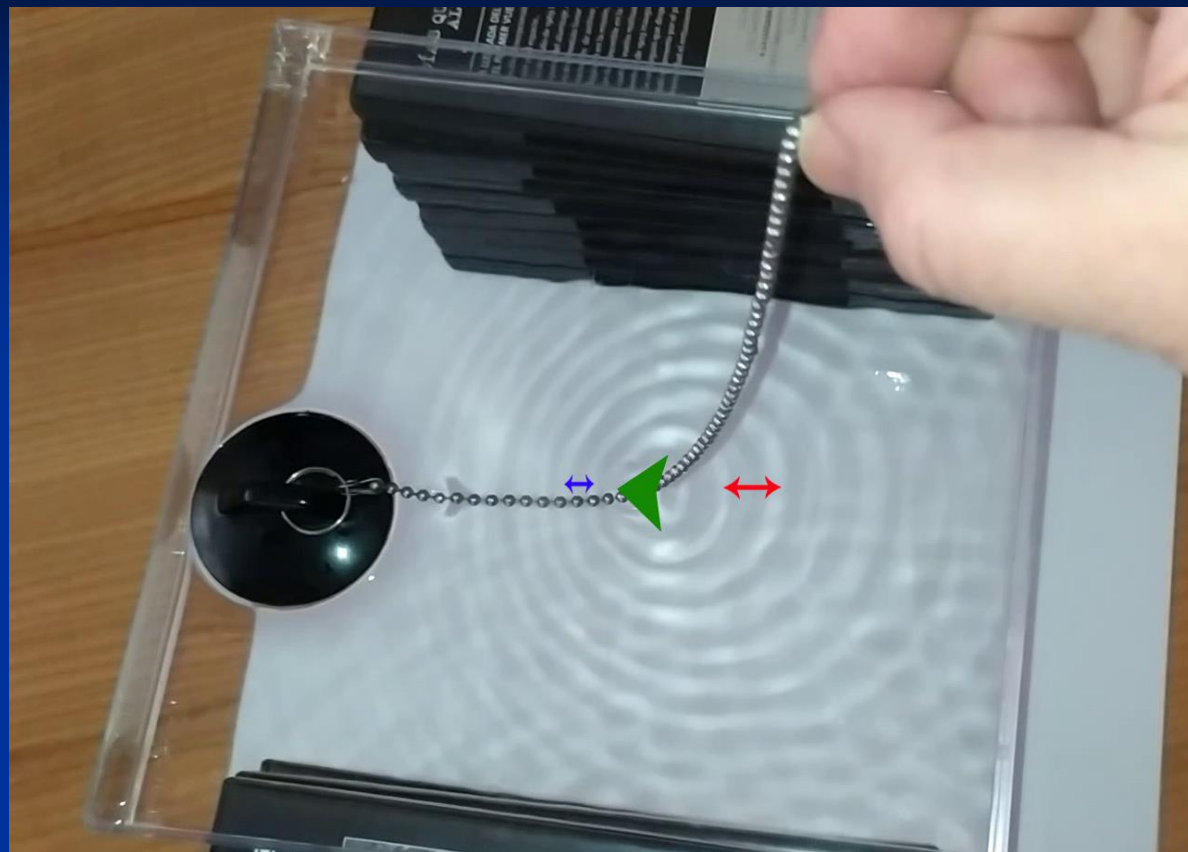
Când sursa de lumină se apropie de observator, lungimea de undă aparentă scade, deplasându-se spre partea albastră a spectrului vizibil.

Când sursa de lumină se îndepărtează de observator, lungimea de undă aparentă crește, deplasându-se spre partea roșie a spectrului vizibil.



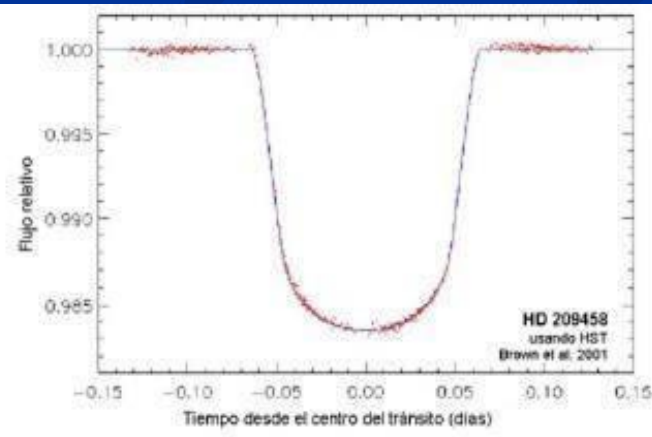
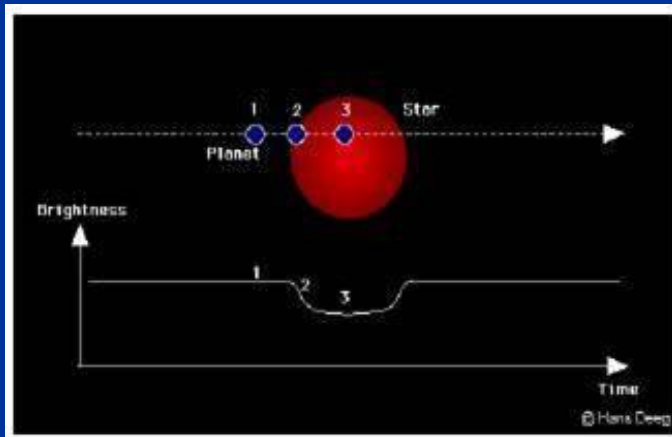
Activitatea 13: Efectul Doppler

Acesta a fost pus în evidență cu un recipient cu apă, un capac cu lanț și lanterna smartphonului.



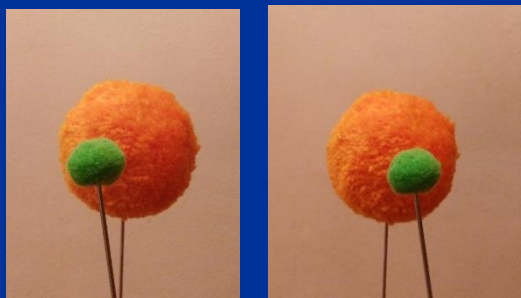
Metodă de detecție: Tranzitul

- În timpul tranzitului unei exoplanete, strălucirea steii suferă o mică scădere.
- Pentru stelele de tip solar și planetele de dimensiunea lui Jupiter, scăderea strălucirii este de aproximativ 1%, dar în cazul planetelor de dimensiuni terestre, scăderea este de aproximativ 0,03%.

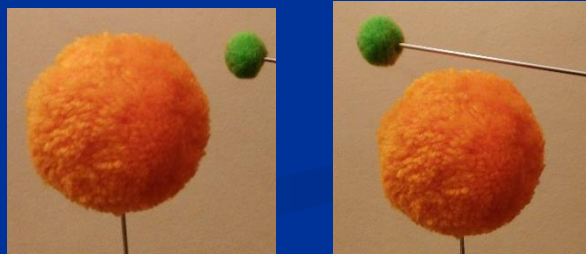


Activitatea 14: Simularea tranzitului

- Folosind două mingi: una mare drept o stea și una mică drept exoplaneta ce orbitează steaua.
- Cu observatorul în același plan al orbitei și observând din acel loc, veți vedea exoplaneta trecând în fața stelei și strălucirea stelei scăzând.
- Dar dacă observatorul nu se află în același plan al orbitei, nu se va observa nicio modificare a curbei de strălucire.



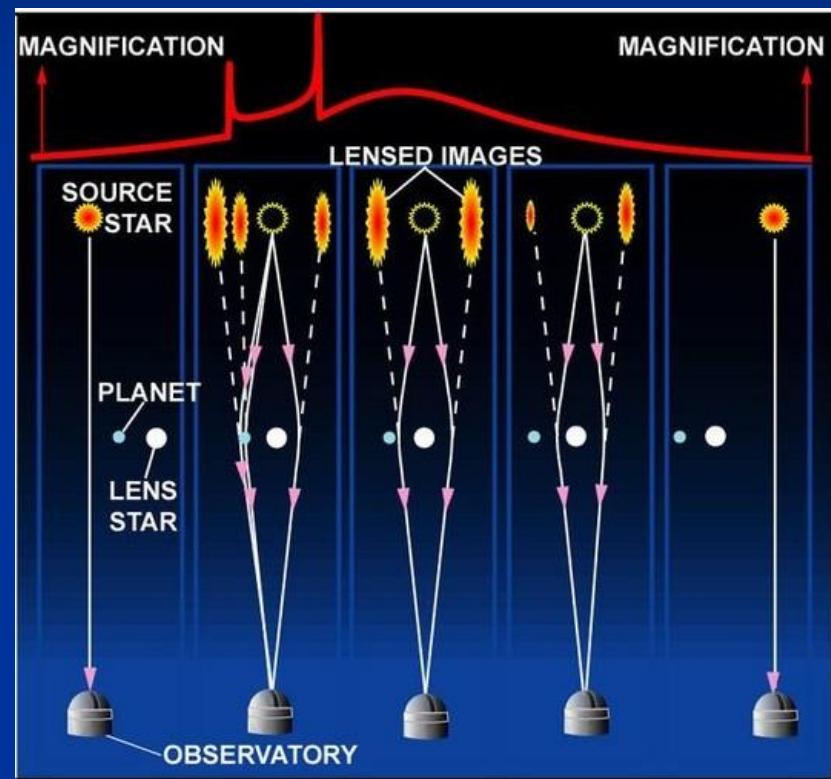
Observatorul în planul orbitei



Observatorul în afara planului orbitei.

Metodă de detecție: Microlentile gravitaționale

- Există o extindere sau o distorsiune care evidențiază sistemul stea-exoplanetă, în cazul alinierii sistemului cu o stea sau un obiect care produce o lentilă gravitațională.

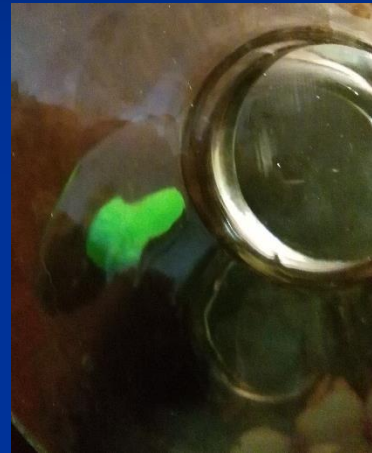


Trebuie să fie o aliniere vizuală completă între cele trei corpuri (Pământ, obiect-lentilă și stea-exoplanetă).

Activitatea 15: Simularea microlentei



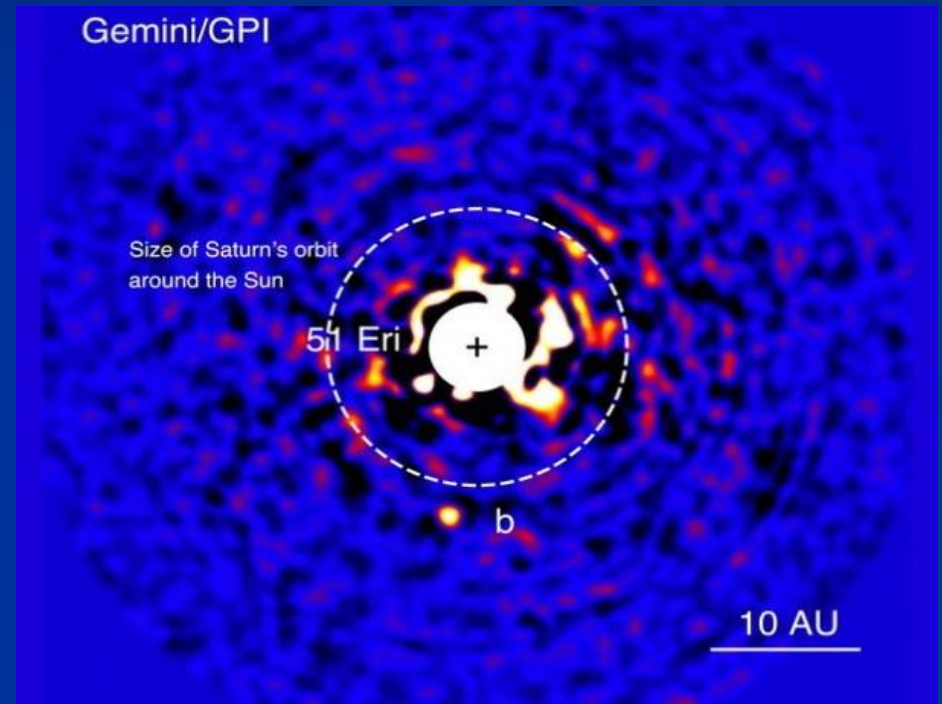
Cu un singur
picior de
pahar nu se
vede nimic.



Cu o pereche de picioare de pahar
Translatăm unul peste celălalt și
apare un punct, iar apoi chiar două.

Metodă de detecție: Directă

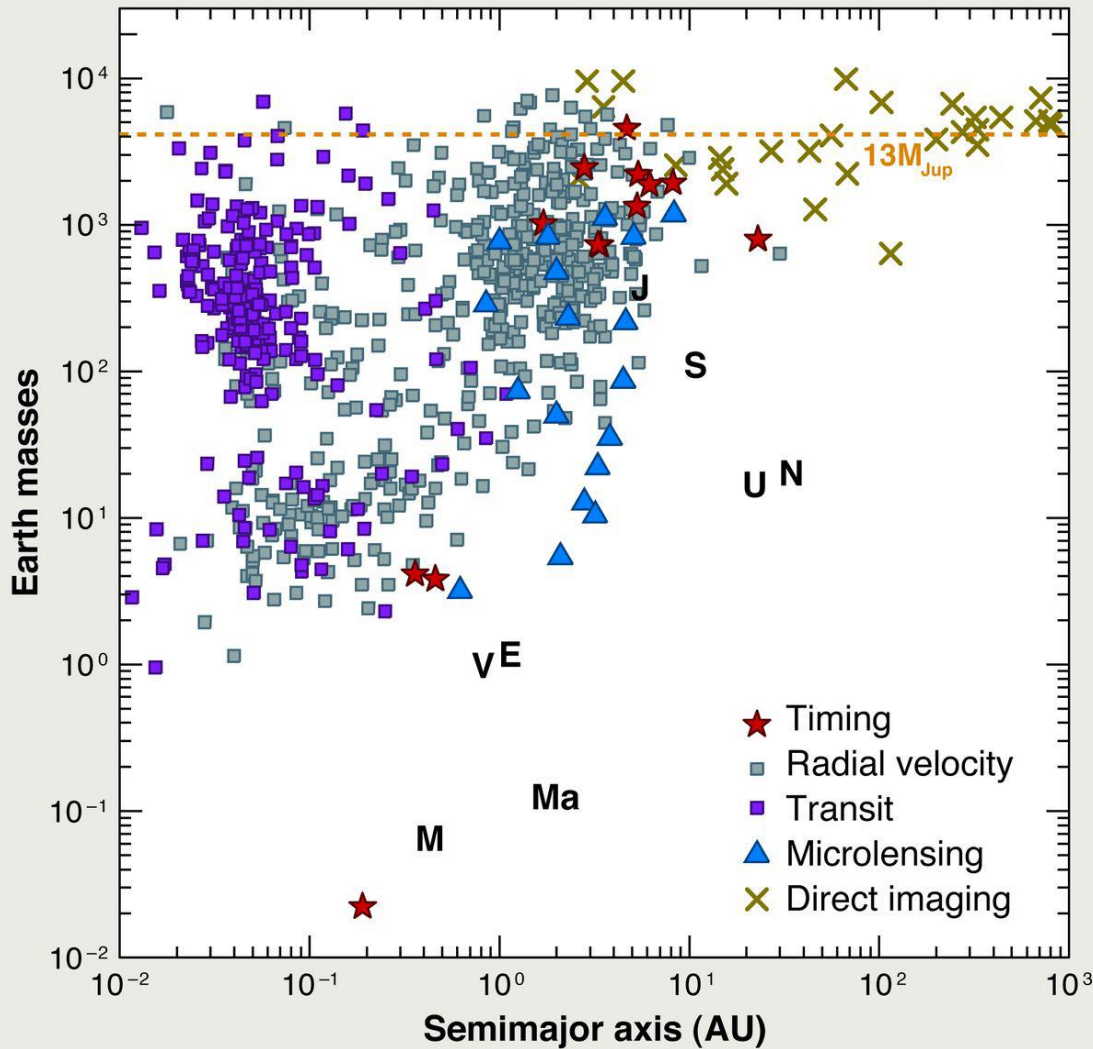
- Se studiază imaginea stelei pentru a determina exoplaneta ce se rotește în jurul ei.



Metoda este ușor de utilizat datorită cantității de lumină emise de stea.



2013 exoplanete cunoscute în funcție de diferitele metode de detectie

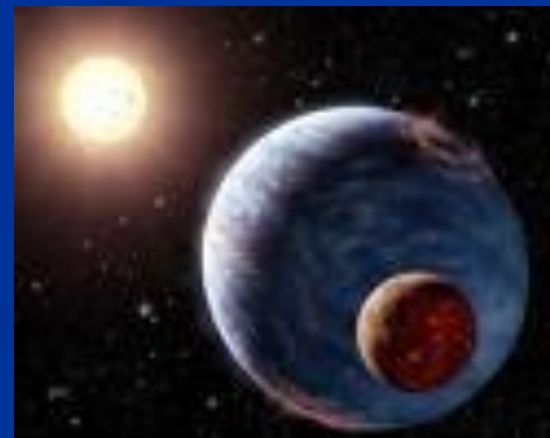


Modele pentru sistemele exoplanetare

În prezent au fost confirmate mai mult de 2000 de sisteme exoplanetare și câteva mii de exoplanete candidate.

(Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

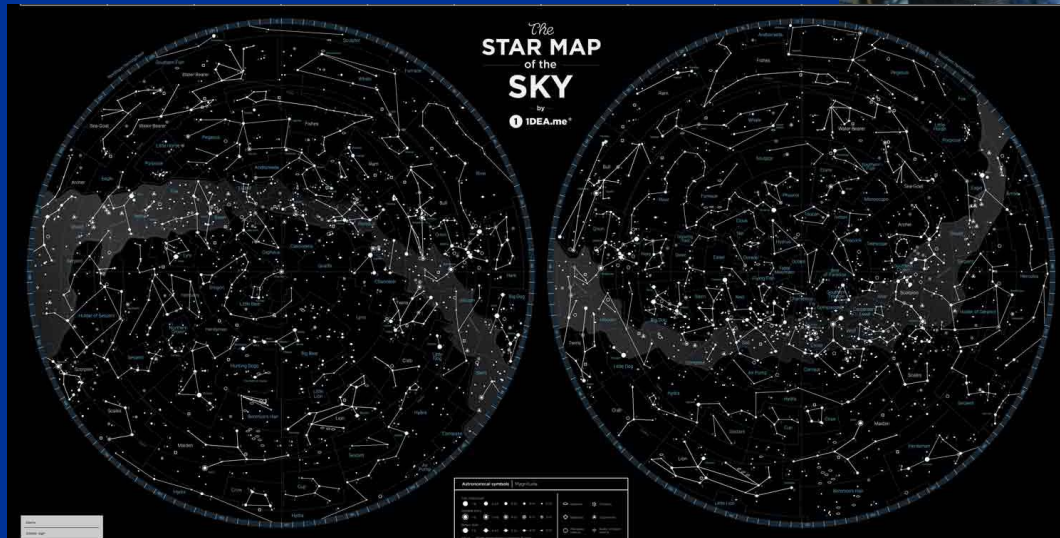
Masele sunt comparabile cu cea a lui Jupiter (1.9×10^{27} kg) sau cu cea a Pământului (5.97×10^{24} kg).



* Limitări tehnice



Activitatea 16: Modele la scară a sistemelor exoplanetare



Distanța 1 UA = 1 m
Diametrul 10000 km = 0,5 cm

Activitatea 16: Construim Sistemul Solar

Sistem Solar	Distanța UA	Diametru km	Model cu distanțe	Model cu diametre
Mercur	0,39	4879	40 cm	0,2 cm
Venus	0,72	12104	70 cm	0,6 cm
Pământ	1	12756	1m	0,6 cm
Marte	1,52	6794	1,5 m	0,3 cm
Jupiter	5,2	142984	5 m	7 cm
Saturn	9,55	120536	10 m	6 cm
Uranus	19,22	51118	19 m	2,5 cm
Neptun	30,11	49528	30 m	2,5 cm

Steaua gazdă Soarele G2V; în model diametrul Soarelui este 35 cm

Distanța 1UA = 1m

Diametrul 10000 km = 0,5 cm



Activitatea 16:

Construim “primul sistem exoplanetar”:

Upsilon Andromedae Titawin	Anul descope- ririi	Distanța UA	Diametru km	Model Distanța	Model Diametru
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

Steaua gazdă Upsilon Andromedae F8V la 44 a.l. în And.,
Diametru = 1,28 Diametru Soare; în model = 45 cm

Distanța 1UA = 1m
Diametru 10000 km = 0,5 cm



Activitatea 16: Construim planete “terestre”

Gliese 581	Anul descoperirii	Distanța UA	Diametru km	Model Distanță	Model Diametru
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

Steaua gazdă Gliese 581 M2,5V este la 20,5 a.l. în Libra, Diametru = 0,29 din cel al Soarelui; în model este 10 cm

Distanța 1UA = 1m

Diametru 10000 km = 0,5 cm



Activitea 16:

Construim planete “terestre locuibile”

Kepler 62	Anul descoperirii	Distanța UA	Diametru km	Model Distanța	Model Diametru
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

Steaua gazdă Kepler 62 K2V este la 1200 a.l. în Lyr,
Diametru = 0,64 din cel al Soarelui; în model este 22 cm

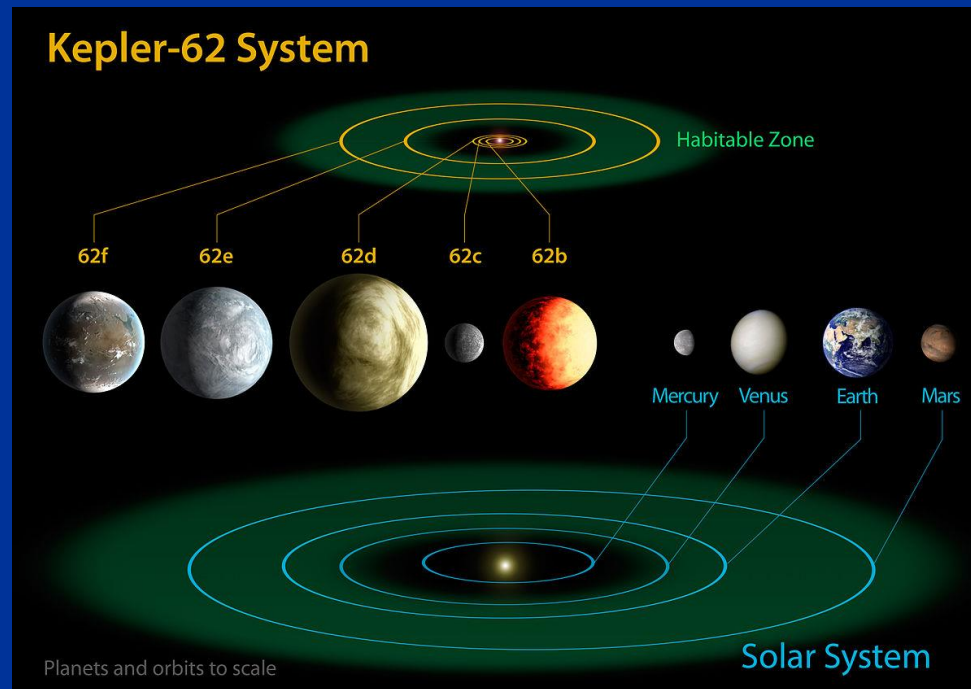
Distanța 1 UA = 1m

Diametru 10000 km = 0,5 cm



Posibila locuire a exoplanetelor

- În zona locuibilă Kepler-62: cele două exoplanete ar putea avea apă lichidă pe suprafețele lor. Kepler-62e, care se află aproape de interiorul zonei locuibile, ar necesita acoperirea cu nori reflectători, care să reducă radiația ce încălzește suprafața sa. Pe de altă parte, Kepler-62f se află în zona exterioară a zonei locuibile.



Activitatea 16:

Construim planete “terestre locuibile”

Trappist-1	Anul descoperirii	Distanța UA	Diametru km	Model Distanța	Model Diametru
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

Steaua gazdă Trappist 1 M8V este la 40 a.l. în Acuarius,
Diametrul = 0,1 din cel al Soarelui; în model = 4 cm

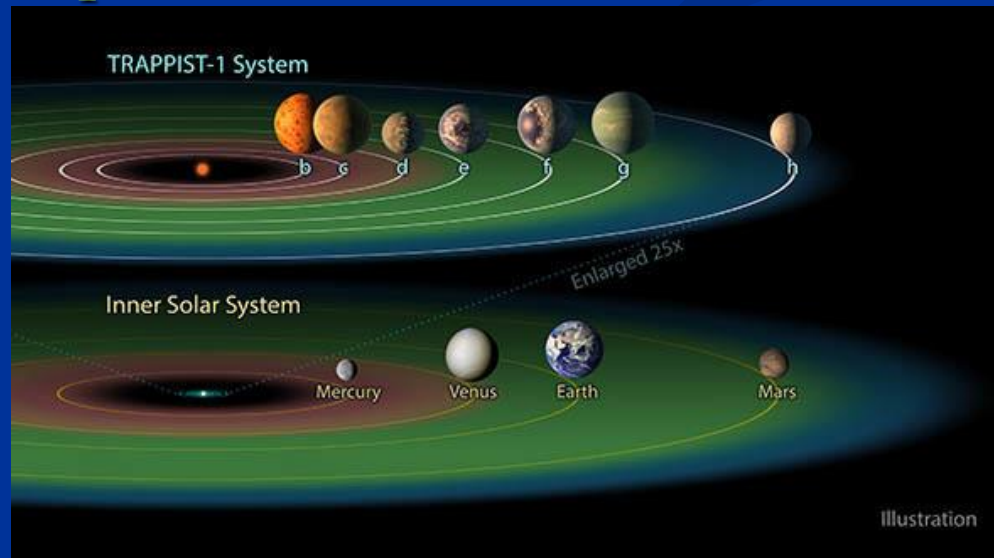
Distanța 1 UA = 1 m

Diametrul 10000 km = 0,5 cm



Posibila locuire a exoplanetelor

■ În sistemul Trappist-1 sunt stânci care ar putea avea cantități mari de apă pe suprafața lor, fie lichidă, sub formă de abur, fie sub formă de crustă de gheață. În zona locuibilă a lui Trappist 1 se află Trappist-1e care pare să aibă un nucleu dens, comparabil cu Pământul, care pare să indice că din toate planetele din acest sistem, aceasta este cea mai asemănătoare Pământului și este probabil să aibă o magnetosferă protectoare.



Concluzii

- Cunoșterea planetelor este mai "concretă"
- Stabilirea relațiilor cu „parametri” care permit o mai bună înțelegere a dimensiunilor
- Sistemul Solar "este mai mult gol"
- Introducerea exoplanetelor. Recunoașterea metodele de detecție



Vă mulțumesc
pentru atenție!

